LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS

Thomas S. Kuhn

NUEVA EDICIÓN

BREVIARIOS

fce

La ciencia no avanza como un proceso acumulativo y estable; los periodos de ciencia normal ligados a una tradición se ven interrumpidos por rupturas violentas no acumulativas en las que la ciencia se revoluciona, destruye los paradigmas desgastados y los sustituye con otros nuevos. Tras introducir el concepto de paradigma en el campo científico, Thomas S. Kuhn observa en las páginas de este libro el comportamiento de las comunidades científicas, encargadas de seleccionar el modo más apto de practicar la ciencia futura tras momentos de crisis en que los paradigmas científicos o matrices disciplinares ya no sirven para resolver los problemas que les atañen. La historiografía y la epistemología han encontrado en *La estructura de las revoluciones científicas* un parteaguas que no ha cesado de provocar controversias desde 1962 (más de un millón de ejemplares en las 16 lenguas a las que se ha traducido). Esta nueva edición presenta el texto de la última edición en inglés, en una nueva traducción al español.

Thomas S. Kuhn (1922-1996), doctor en física de Harvard, se especializó en historia de la ciencia y enseñó en Harvard, Princeton, Berkeley y finalmente en el MIT. Publicó cinco libros e innumerables artículos. El FCE tradujo en 1982 otro libro suyo, *La tensión esencial.*

BREVIARIOS

del

FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

213

LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS

Traducción de
CARLOS SOLÍS SANTOS

La estructura *de las* revoluciones científicas

por

THOMAS S. KUHN

FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
MÉXICO

Primera edición en inglés, 1962
Segunda edición, 1970
Primera edición en español, 1971
Decimoctava reimpresión, 2002
Segunda edición, 2004
Segunda reimpresión, 2004

Kuhn, Thomas Samuel
La estructura de las revoluciones científicas / Thomas Samuel Kuhn ; trad. de Carlos Solís Santos. — 2ª ed. — México : FCE, 2004
352 p. ; 17×11 cm — (Colec. Breviarios ; 213)
Título original *The Structure of Scientific Revolutions*
ISBN 968-16-7224-0

1. Ciencia — Historia 2. Ciencia — Filosofía I. Solís Santos, Carlos, tr. II. Ser III. t

LC Q175. K95 Dewey 082.1 B84 V. 213

Comentarios y sugerencias: editor@fce.com.mx
www.fondodeculturaeconomica.com
Tel. (55)5227-4672 Fax (55)5227-4694

Diseño de portada: R/4, Pablo Rulfo

Título original: *The Structure of Scientific Revolutions*
Edición autorizada por The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, E. U. A.

ISBN 968-16-7224-0 (segunda edición)
ISBN 968-16-0443-1 (primera edición)

Impreso en México • *Printed in Mexico*

ÍNDICE

PREFACIO

El siguiente ensayo constituye el primer informe completo que se publica sobre un proyecto concebido originalmente hace casi quince años. En aquella época yo era un estudiante de doctorado de física teórica próximo ya a terminar mi tesis doctoral. Mi primer contacto con la historia de la ciencia me lo proporcionó la afortunada participación en un curso experimental de la universidad sobre física para no científicos. Para mi gran sorpresa, el verme así expuesto a las teorías y prácticas científicas periclitadas minó de modo radical algunas de mis concepciones básicas acerca de la naturaleza de la ciencia y de las razones de su éxito particular.

Esas concepciones eran las que yo había extraído anteriormente en parte de mi propia educación científica y en parte de un viejo interés vocacional por la filosofía de la ciencia. En cierta medida esas nociones, a pesar de su utilidad pedagógica y de su plausibilidad en abstracto, no lograban encajar con la empresa que ponía de manifiesto el estudio histórico. A pesar de ello, eran y siguen siendo fundamentales en muchas discusiones sobre la ciencia, por lo que su falta de verosimilitud merecería un examen concienzudo. El resultado de ello fue un cambio en mis planes profesionales que me hicieron pasar de la física a la historia de la ciencia y luego, de una manera gradual, de los problemas históricos rela-

tivamente simples a las preocupaciones de carácter más filosófico que me habían llevado inicialmente a la historia. Con la excepción de unos cuantos artículos, este ensayo constituye la primera de mis obras publicadas en la que dominan estas primitivas preocupaciones mías. En parte es un intento de explicarme a mí mismo y a mis amigos cómo me vi llevado inicialmente de la ciencia a su historia.

La primera oportunidad que tuve para desarrollar con alguna profundidad las ideas que voy a exponer me la proporcionó un periodo de tres años como Junior Fellow de la Society of Fellows de la Universidad de Harvard.* Sin ese periodo de libertad, la transición a un nuevo campo de estudio hubiera resultado mucho más difícil y tal vez no hubiera tenido lugar. En aquellos años dediqué parte del tiempo a la historia de la ciencia propiamente dicha. En particular, proseguí el estudio de los escritos de Alexandre Koyré y me topé por vez primera con los de Émile Meyerson, Hélène Metzger y Annelise Maier.[1] Este grupo ha mostrado con mayor claridad que la mayor parte

* T. S. Kuhn fue Junior Fellow de 1948 a 1951. La Society of Fellows fue creada (e inicialmente financiada) en 1933 por el exrector de Harvard, A. L. Lowell. Era una institución pionera en EUA que permitía a sus miembros seguir con libertad programas hechos a su medida, sin necesidad de obtener grados, a fin de contrarrestar la excesiva especialización exigida por el doctorado y permitir la exploración de otros terrenos. Los candidatos eran propuestos por las facultades de todo el país, aunque la mayoría procedían de Harvard [T.].

[1] Fueron especialmente influyentes los *Études Galiléennes* de Alexandre Koyré (3 vols., París, 1933 [traducción española, *Estudios galileanos*, Madrid, Siglo XXI, 1980]); *Identité et Realité* de Émile Meyerson, traducidos por Kate Loewenberg (Nueva York, 1930 [traducción española de Joaquín Xirau, *Identidad y realidad*, Madrid, Reus, 1929]); Hélène Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e siécle à la fin du XVIIIe siècle* (París, 1923) y *Newton, Stahl Boerhaave et la doctrine chimique* (París, 1930); y Annelise Maier, *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert* ("Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik"; Roma, 1949).

de los demás estudiosos recientes qué aspecto ofrecía el pensamiento científico en un periodo en que los cánones de este pensamiento eran muy distintos de los dominantes hoy en día. No obstante la tendencia a poner en tela de juicio algunas de sus interpretaciones históricas concretas, sus obras, junto con *La gran cadena del ser* de A. O. Lovejoy, han sido las más importantes tras las fuentes primarias a la hora de dar forma a mi concepción de lo que pueda ser la historia de las ideas científicas.

Con todo, durante aquellos años pasé la mayor parte del tiempo explorando campos que aparentemente carecían de relación alguna con la historia de la ciencia, aunque ahora la investigación descubre en ellos problemas semejantes a los que la historia ponía ante mis ojos. Una nota hallada por casualidad me llevó hasta los experimentos mediante los cuales Jean Piaget ha iluminado no sólo los diferentes mundos del desarrollo infantil, sino también el proceso de transición de cada uno de ellos al siguiente.[2] Uno de mis colegas me indujo a leer artículos de psicología de la percep-

[2] Dos series de investigaciones piagetianas resultaron ser especialmente importantes al mostrar conceptos y procesos que surgen también directamente de la historia de la ciencia. Se trata de *The Child's Conception of Causality*, traducido por Marjorie Gabain (Londres, 1930 [traducción española, *La causalidad física en el niño*, Madrid, Espasa Calpe, 1934]) y *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* (París, 1946).

ción, especialmente de los psicólogos de la Gestalt, otro me introdujo en las especulaciones de B. L. Whorf sobre los efectos del lenguaje sobre la visión del mundo, mientras que W. V. O. Quine me descubrió los rompecabezas filosóficos de la distinción analítico-sintético.[3] Ésta es la clase de exploración aleatoria que permite la Society of Fellows y sólo gracias a ella pude dar con la monografía casi desconocida de Ludwik Fleck, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (Basilea, 1935 [traducción española, *La génesis y desarrollo de un hecho científico*, Madrid, Alianza, 1986]), un ensayo que anticipa muchas de mis propias ideas. Junto con una observación de otro Junior Fellow, Francis X. Sutton, la obra de Fleck me hizo darme cuenta de que podría ser necesario situar esas ideas en la sociología de la comunidad científica. Aunque los lectores no encontrarán en lo que sigue muchas referencias a tales obras y conversaciones, tengo contraídas con ellas más deudas de las que puedo ahora expresar o evaluar.

Durante mi último año como Junior Fellow tuve una primera ocasión de poner a prueba mi idea de ciencia, aún en fase de desarrollo, gracias a la invitación para dar unas conferencias en el Instituto Lowell de Boston. El resultado fue una

[3] Los artículos de Whorf han sido posteriormente reunidos por John B. Carroll, *Language Thought and Reality- Selected Writings of Benjamin Lee Whorf* (Nueva York, 1956 [traducción española, *Lenguaje, pensamiento y realidad*, Barcelona, Círculo de Lectores, 1999]). Quine ha presentado sus puntos de vista en "Two Dogmas of Empiricism", reimpreso en *From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass., 1953), pp. 20-46 [traducción española, "Dos dogmas del empirismo", en *Desde un punto de vista lógico*, Barcelona, Ariel, 1963, pp. 49-81].

serie de ocho conferencias públicas pronunciadas durante el mes de marzo de 1951 sobre "La búsqueda de la teoría física". Al año siguiente comencé a enseñar historia de la ciencia propiamente dicha y, durante casi una década, los problemas de formarme en un campo que nunca había estudiado sistemáticamente me dejaron poco tiempo para seguir articulando de manera explícita las ideas que me habían conducido originalmente a él. Afortunadamente, sin embargo, esas ideas resultaron ser una fuente de orientación implícita y de estructuración de los problemas en gran parte de mis enseñanzas más avanzadas. Por consiguiente he de expresar las gracias a mis estudiantes por las inapreciables lecciones que me dieron tanto sobre la viabilidad de mis puntos de vista como sobre las técnicas requeridas para comunicarlas de manera efectiva. Los mismos problemas y orientación dan unidad a la mayoría de los estudios predominantemente históricos y aparentemente diversos que he publicado desde el final de mi beca. Varios de ellos tratan acerca del papel esencial desempeñado por una u otra metafísica en la investigación científica creadora. Otros examinan el modo en que las bases experimentales de una nueva teoría resultan acumuladas y asimiladas por personas comprometidas con una teoría incompatible más antigua. Al hacerlo, describen el tipo de desarrollo que he denominado más abajo el "surgimiento" de una nueva teoría o descubrimiento. Se dan además otras conexiones similares.

La etapa final del desarrollo de este ensayo empezó con una invitación para pasar el año 1958-1959 en el Center for Advanced Studies in the Be-

havioral Sciences.* Una vez más pude prestar una atención exclusiva a los problemas analizados más adelante. Y lo que es más importante, el hecho de pasar un año en una comunidad formada predominantemente por científicos sociales me puso ante problemas inesperados relativos a las diferencias existentes entre esas comunidades y las de los científicos naturales entre los que me había formado. Me sorprendió en especial el número y la amplitud de desacuerdos patentes entre los científicos sociales acerca de la naturaleza de los problemas y métodos legítimos de la ciencia. Tanto la historia como la experiencia me hacían dudar de que los que se dedican a las ciencias naturales poseyesen respuestas a tales cuestiones más firmes o más duraderas que las de sus colegas de las ciencias sociales. Aun así, de algún modo la práctica de la astronomía, la física, la química o la biología normalmente no revela las controversias sobre cuestiones fundamentales que tan a menudo parecen hoy endémicas entre, por ejemplo, psicólogos o sociólogos. Los intentos por descubrir la fuente de tal diferencia me llevaron a darme cuenta de la función que desempeña en la investigación científica lo que desde entonces he dado en llamar "paradigmas". Considero que éstos son logros científicos universalmente aceptados que durante algún tiempo suministran modelos de problemas y soluciones a una comunidad de profesionales. Una vez que hubo encajado en su sitio esta pieza del rompecabezas, escribí rápidamente un borrador de este ensayo.

* En 1954 la Fundación Ford estableció en la universidad de Stanford el Centro de Estudios Avanzados sobre Ciencias de la Conducta bajo la dirección de R. W. Tyler. La idea era reunir a estudiosos prometedores de las universidades y centros de investigación para darles la ocasión de profundizar en su formación, ampliar su perspectiva y realizar un trabajo original [T.].

No hay por qué contar aquí la subsiguiente historia de ese borrador, aunque debería decir dos palabras sobre la forma que ha mantenido a través de las revisiones. Hasta terminar y revisar a conciencia la primera versión, pensaba que el manuscrito aparecería exclusivamente como un volumen de la *Encyclopedia of Unified Science*. Inicialmente, los editores me habían solicitado esta primera obra, luego me exigieron firmemente el cumplimiento del compromiso y por último esperaron los resultados con extraordinario tacto y paciencia. Me siento muy en deuda con ellos, especialmente con Charles Morris por apretar las tuercas esenciales y aconsejarme sobre el manuscrito resultante. Con todo, las limitaciones de espacio de la *Encyclopedia* me obligaban a presentar mis puntos de vista de forma extremadamente condensada y esquemática. Aunque los acontecimientos posteriores han relajado un tanto tales restricciones, haciendo posible una publicación simultánea independiente, esta obra sigue siendo un ensayo más bien que el libro hecho y derecho que el tema acabará por exigir.

Puesto que mi objetivo fundamental es provocar un cambio en la percepción y evaluación de los datos corrientes, el carácter esquemático de esta primera presentación no tiene por qué ser una cortapisa. Más bien lo contrario, pues los lectores cuyas investigaciones los hayan preparado para el tipo de reorientación aquí defendida, hallarán la forma de ensayo más sugerente y fácil de asi-

milar. Pero también tiene sus desventajas, las cuales justificarán que señale desde el comienzo el tipo de ampliaciones, tanto en alcance como en profundidad, que espero poder incluir finalmente en una versión más larga. Hay disponibles muchas más pruebas históricas de las que he tenido ocasión de explotar en lo que sigue. Además esas pruebas provienen tanto de la historia de las ciencias biológicas como de la de las físicas. La decisión de ocuparme aquí tan sólo de las últimas proviene en parte del deseo de volver más coherente este ensayo y en parte del terreno en que soy ahora competente. Además, la visión de la ciencia que voy a desarrollar aquí sugiere la potencial fecundidad de algunos nuevos tipos de investigación tanto históricos como sociológicos. Así, por ejemplo, merece un estudio detallado el modo en que las anomalías o violaciones de las expectativas atraen cada vez más la atención de la comunidad científica, así como el surgimiento de la crisis que puede provocar el repetido fracaso a la hora de dar acomodo a una anomalía. O también, si es correcto que cada revolución científica altera la perspectiva histórica de la comunidad que la sufre, tal cambio de perspectiva habría de afectar a la estructura de los textos y publicaciones de investigación posrevolucionarias. Como posible indicador de que se ha producido una revolución habría que estudiar uno de esos efectos, a saber: el cambio de la distribución de la bibliografía técnica citada en las notas de los informes de investigación.

La necesidad de hacer una exposición drásticamente condensada me ha obligado asimismo a postergar la discusión de algunos problemas importantes. Por ejemplo, la distinción que establezco entre periodos preparadigmáticos y posparadigmáticos en el desarrollo de la ciencia resulta demasiado esquemática. Cada una de las escuelas cuya competencia caracteriza el periodo primitivo se ve guiada por algo muy parecido a un paradigma, a la vez que en los periodos posteriores hay circunstancias, aunque esporádicas, en las cuales pueden coexistir pacíficamente dos paradigmas. La mera posesión de un paradigma no es un criterio plenamente suficiente para la transición evolutiva que se discute en el capítulo II. Y lo que es más importante, si se exceptúan algunas breves consideraciones hechas de pasada, no he dicho nada de la función del progreso tecnológico o de las condiciones externas sociales, económicas e intelectuales en el desarrollo de las ciencias. Con todo, no hay más que echar un vistazo a Copérnico y al calendario para descubrir que las condiciones externas pueden contribuir a transformar una mera anomalía en fuente de una crisis aguda. El mismo ejemplo puede servir para ilustrar el modo en que las condiciones externas a las ciencias pueden influir en el abanico de alternativas abierto a quien trata de poner fin a una crisis proponiendo una u otra reforma revolucionaria.[4] Estimo que la consideración explícita de

[4] Estos factores se discuten en T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, Mass., 1957), pp. 122-232, 270-271 [traducción española, *La revolución copernicana*, Barcelona, Ariel, 1978, y reediciones posteriores, pp. 170-182 y 343-344]. Se pueden ver ejemplos de otros efectos de las condiciones intelectuales y económicas externas sobre el desarrollo sustantivo de la ciencia en mis artículos "Conservation of Energy as an Example of Simultaneous Discovery", *Critical Problems*

este tipo de efectos no habría de modificar las principales tesis desarrolladas en este ensayo, si bien no cabe duda de que habría añadido una dimensión analítica de importancia primordial a la comprensión del avance de la ciencia.

Finalmente, aunque tal vez sea lo más importante de todo, las limitaciones de espacio han afectado drásticamente mi tratamiento de las implicaciones filosóficas de la visión de la ciencia históricamente orientada que presenta este ensayo. Está claro que existen esas implicaciones y he tratado tanto de señalar como de documentar las más importantes, si bien por regla general me he abstenido de discutir en detalle las diferentes posiciones adoptadas por los filósofos contemporáneos sobre las cuestiones implicadas. Allí donde me he mostrado escéptico, en general lo he hecho más bien respecto a una actitud filosófica que a alguna de sus expresiones plenamente desarrollada, razón por la cual quienes conozcan y trabajen dentro de una de esas posiciones articuladas tal vez puedan estimar que no he comprendido bien su posición. Creo que se equivocarían, aunque este ensayo no está pensado para convencerlos a ellos. Para emprender esa tarea habría hecho falta un tipo de libro mucho más largo y muy distinto.

in the History of Science, ed. Marshall Clagett (Madison, Wisconsin, 1959), pp. 321-56 [este artículo se puede ver ahora como capítulo 4 de T. S. Kuhn, *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, 1977; traducción española, *La tensión esencial*, México, FCE, 1981, y reediciones posteriores]; "Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot", *Archives internationales d'histoire des sciences*, XIII (1960), pp. 247-274. Por tanto considero secundaria la función de los factores externos tan sólo en el contexto de los problemas analizados en este ensayo.

Los fragmentos autobiográficos con que se abre este prefacio servirán para ver que soy capaz de reconocer mis deudas principales tanto con las obras de los profesionales como con las instituciones que han contribuido a conformar mi pensamiento. Trataré de saldar el resto de mis deudas mediante citas en las páginas que siguen. No obstante, nada de lo que he dicho ni de lo que diré podrá ofrecer más que un pálido atisbo del número y naturaleza de mis deudas personales para con muchas personas cuyas sugerencias y críticas han apoyado y orientado en diferentes momentos mi desarrollo intelectual. Ha transcurrido mucho tiempo desde que comenzaron a tomar forma las ideas de este ensayo, y la lista de aquellos que pueden hallar propiamente señales de su influjo en sus páginas casi coincidiría con la lista de mis amigos y conocidos. En las presentes circunstancias he de limitarme a las influencias más significativas que ni siquiera una memoria deficiente podría suprimir jamás del todo.

Quien por vez primera me introdujo en la historia de la ciencia fue James B. Conant, a la sazón rector de la Universidad de Harvard, con lo que inició la transformación de mi concepción acerca de la naturaleza del avance de la ciencia. Desde que comenzó dicho proceso, se ha mostrado generoso con sus ideas, con sus críticas y con su tiempo, incluyendo el tiempo preciso para leer y sugerir importantes cambios en el borrador del manuscrito. Leonard K. Nash, con quien he enseñado durante cinco años el curso de orientación histórica iniciado por el doctor Conant, ha sido un colaborador aún más activo durante los años en que mis ideas empezaron a tomar cuerpo, por lo

que lo he echado mucho de menos durante las etapas posteriores de su desarrollo. Por fortuna, no obstante, su función como caja de resonancia creativa, y más aún, fue desempeñada después de que me fui de Cambridge por mi colega de Berkeley, Stanley Cavell. Siempre ha sido para mí una constante fuente de estímulo y ánimo el que Cavell, un filósofo preocupado principalmente por la ética y la estética, hubiese llegado a conclusiones tan coincidentes con las mías. Es además la única persona con la que alguna vez he sido capaz de explorar mis ideas sin terminar las frases. Ese modo de comunicación es testigo de un entendimiento que le ha permitido indicarme cómo afrontar o vadear algunos obstáculos importantes con los que me topé cuando preparaba mi primer manuscrito.

Tras la redacción de esa versión, muchos otros amigos han echado una mano con su reformulación. Creo que me perdonarán que sólo nombre a los cuatro cuyas contribuciones resultaron ser más decisivas y de mayor alcance. Se trata de Paul K. Feyerabend de Berkeley, Ernest Nagel de Columbia, H. Pierre Noyes del Lawrence Radiation Laboratory y mi alumno John L. Heilbron, que a menudo ha trabajado en estrecha colaboración conmigo en la preparación de la versión final para las prensas. He hallado extraordinariamente útiles sus reservas y sugerencias, pero no tengo la menor razón para creer (y sí algunas para dudar) que ni ellos ni los mencionados anteriormente aprueben en su totalidad el manuscrito resultante.

Mi agradecimiento final hacia mis padres, mi mujer y mis hijos ha de ser de muy distinta clase. Todos ellos han aportado también ingredientes

intelectuales a mi trabajo por caminos que quizá yo sea el último en reconocer, aunque en diversa medida también han hecho algo más importante, cual es permitir y aun alentar mi devoción por el trabajo. Quienquiera que se haya enfrentado a un proyecto como el mío se dará cuenta de cuánto les ha tenido que costar en muchas ocasiones. No sé cómo agradecérselo.

T. S. K.

Berkeley, California
Febrero de 1962

I. INTRODUCCIÓN: UN PAPEL PARA LA HISTORIA

Si se considerase como algo más que un acervo de anécdotas o como algo más que mera cronología, la historia podría provocar una transformación decisiva en la imagen de la ciencia que ahora nos domina. Dicha imagen ha sido extraída inicialmente, incluso por los propios científicos, sobre todo del estudio de los logros científicos acabados tal como se registran en los clásicos y, más recientemente, de los libros de texto en los que cada nueva generación científica aprende la práctica de su oficio. Sin embargo, es inevitable que el objetivo de tales libros sea propagandístico y pedagógico, de manera que la idea de ciencia que de ellos se desprende no tiene más probabilidades de describir adecuadamente la empresa que los ha producido de lo que las tiene la imagen de la cultura nacional extraída de un folleto turístico o de un manual del idioma. Este ensayo trata de mostrar que hemos sido engañados por ellos en aspectos fundamentales. Su objetivo es bosquejar el concepto totalmente distinto de ciencia que puede surgir de los registros históricos de la propia actividad investigadora.

Con todo, ni siquiera la historia nos proporcionará ese nuevo concepto si los datos históricos siguen buscándose y examinándose principalmente para responder a las preguntas planteadas por el estereotipo ahistórico extraído de los textos de

ciencia. Por ejemplo, a menudo tales textos han parecido dar a entender que el contenido de la ciencia queda ejemplificado exclusivamente por las observaciones, leyes y teorías descritas en sus páginas. Casi con la misma regularidad, se han interpretado esos mismos libros en el sentido de que los métodos científicos son sencillamente los ejemplificados por las técnicas de manipulación utilizadas al recoger los datos del texto, junto con las operaciones lógicas empleadas para relacionar esos datos con las generalizaciones teóricas del propio libro de texto. El resultado de ello ha sido un concepto de ciencia con profundas implicaciones acerca de su naturaleza y desarrollo.

Si la ciencia es la constelación de hechos, teorías y métodos recogidos en los textos al uso, entonces los científicos son las personas que, con éxito o sin él, han intentado aportar un elemento u otro de esa constelación concreta. El desarrollo científico se convierte así en el proceso gradual mediante el cual esos elementos se han sumado, uno a uno y en combinación, al acervo siempre creciente que constituye la técnica y el conocimiento científicos. Además la historia de la ciencia se convierte en la disciplina que registra esos incrementos sucesivos no menos que los obstáculos que han inhibido su acumulación. Así pues, el historiador que se ocupa del desarrollo científico parece tener ante sí dos tareas principales, por un lado determinar quién y en qué momento descubrió o inventó cada uno de nuestros actuales hechos, leyes y teorías y, por otro, describir y explicar el cúmulo de errores, mitos y supersticiones que han inhibido la acumulación más rápida de los constituyentes de los modernos textos científicos. Se ha dedicado a estas tareas una buena dosis de investigación y en parte aún se le sigue dedicando.

En época reciente, no obstante, unos cuantos historiadores de la ciencia han venido encontrando cada vez más difícil desempeñar las tareas que les asigna la concepción del desarrollo-por-acumulación. Como cronistas de un proceso de incremento descubren que, a medida que aumenta la investigación, resulta más arduo y no más sencillo responder a preguntas del tipo: ¿Cuándo se descubrió el oxígeno? ¿Quién fue el primero en concebir la conservación de la energía? Cada vez más, algunos de ellos sospechan que sencillamente se trata de un tipo de preguntas inadecuado. Quizá la ciencia no se desarrolle mediante la acumulación de descubrimientos e invenciones individuales. Al mismo tiempo, esos mismos historiadores encuentran cada vez más dificultades a la hora de distinguir los componentes "científicos" en las observaciones y creencias pasadas de lo que sus predecesores habían tildado despreocupadamente de "error" y "superstición". Cuanto más pormenorizadamente estudian, por ejemplo, la dinámica de Aristóteles, la química del flogisto o la termodinámica del calórico, más convencidos se sienten de que esas visiones de la naturaleza antaño corrientes no eran globalmente consideradas ni menos científicas ni más el producto de la idiosincrasia humana que las hoy en día vigentes. Si esas creencias pasadas de moda han de tenerse por mitos, entonces los mitos se pueden producir con los mismos tipos de métodos y pueden ser sostenidas por los mismos tipos de razones que hoy conducen al conocimiento cien-

tífico. Si, por una parte, se han de tener por ciencia, entonces la ciencia ha dado cabida a cuerpos de creencias completamente incompatibles con las sostenidas hoy en día. Dadas estas alternativas, el historiador ha de elegir la última. Las teorías pasadas de moda no son acientíficas en principio porque hayan sido desechadas. Con todo, esta decisión hace difícil ver el desarrollo científico como un proceso de acumulación. La misma investigación histórica que muestra las dificultades a la hora de aislar los inventos y descubrimientos individuales da pie para albergar profundas dudas acerca del proceso acumulativo a través del cual se pensaba que se habían gestado esas contribuciones individuales a la ciencia.

El resultado de todas esas dudas y dificultades es una revolución historiográfica en el estudio de la ciencia, por más que aún se encuentre en sus primeros estadios. Gradualmente, y muchas veces sin darse plenamente cuenta de que lo están haciendo, los historiadores de la ciencia han comenzado a plantear nuevos tipos de preguntas y a trazar líneas de desarrollo científico distintas y a menudo escasamente acumulativas. Por el contrario, en lugar de buscar las contribuciones permanentes de una ciencia antigua a nuestro estado presente, tratan de mostrar la integridad histórica de esa ciencia en su propia época. No se preguntan, por ejemplo, por las relaciones de las opiniones de Galileo con las de la ciencia moderna, sino más bien por la relación entre sus opiniones y las de su grupo; esto es, sus profesores, contemporáneos e inmediatos sucesores en las ciencias. Además insisten en estudiar las opiniones de dicho grupo y las de otros similares desde un punto de vista usualmente muy distinto que el de la ciencia moderna, que confiera a tales opiniones la máxima coherencia interna y la mayor adecuación posible a la naturaleza. Cuando se ve a través de las obras resultantes, obras cuyo mejor ejemplo tal vez sean los escritos de Alexandre Koyré, la ciencia no parece en absoluto la misma empresa que aquella de la que hablaban los autores de la vieja tradición historiográfica. Estos estudios históricos sugieren, siquiera sea por implicación, la posibilidad de una nueva imagen de la ciencia. Pues bien, este ensayo trata de dibujar dicha imagen volviendo explícitas algunas de las implicaciones de la nueva historiografía.

¿Qué aspectos de la ciencia se harán prominentes en el transcurso de este esfuerzo? En primer lugar, al menos en el orden de presentación, está la insuficiencia de las directrices metodológicas para dictar por sí mismas una única conclusión sustantiva a muchos tipos de interrogantes científicos. Si se le pide que examine fenómenos eléctricos o químicos a un individuo que sea lego en esos campos pero que sepa en qué consiste ser científico, podrá alcanzar de manera legítima una u otra de un cierto número de conclusiones incompatibles. Entre esas posibilidades legítimas, las conclusiones particulares a las que llega están determinadas probablemente por su experiencia previa en otros campos, por accidentes en su investigación y por su propia preparación individual. ¿Qué creencias acerca de las estrellas, por ejemplo, aporta él al estudio de la química o la electricidad? ¿Cuál de los muchos experimentos imaginables relevantes para el nuevo campo decide realizar en primer lugar? ¿Y qué aspectos del

fenómeno complejo que de ahí resulta le llaman la atención como especialmente pertinentes para la dilucidación de la naturaleza del cambio químico o de la afinidad eléctrica? Al menos para el individuo, aunque en ocasiones también para la comunidad científica, las respuestas a preguntas de este jaez son a menudo determinantes esenciales del desarrollo científico. Por ejemplo, en el capítulo II señalaremos que las primeras etapas del desarrollo de la mayoría de las ciencias se han caracterizado por una competencia continua entre algunos modos de ver la naturaleza, cada uno de ellos parcialmente derivado de los dictados de la observación y método científicos y todos ellos más o menos compatibles con ellos. Lo que diferenciaba a esas diversas escuelas no era esta o aquella falla del método (todas ellas eran "científicas"), sino lo que daremos en llamar sus modos inconmensurables de ver el mundo y de practicar en él la ciencia. Las observaciones y la experiencia pueden restringir y han de restringir drásticamente el abanico de creencias científicas admisibles, pues de lo contrario no habría ciencia. Mas por sí solas no pueden determinar un cuerpo particular de tales creencias. Hay siempre un elemento aparentemente arbitrario, compuesto de casualidades personales e históricas, que constituye una parte componente de las creencias abrazadas por una comunidad científica dada en un momento dado.

Con todo, tal elemento de arbitrariedad no indica que cualquier grupo científico pueda practicar su oficio sin algún conjunto de creencias heredadas. Tampoco hace menos importante la constelación particular con la que el grupo está de hecho comprometido en un momento dado. La investigación efectiva difícilmente comienza antes de que la comunidad científica considere haber obtenido respuestas firmes a preguntas como las siguientes: ¿Cuáles son las entidades fundamentales de que se compone el universo? ¿Cómo interactúan éstas entre sí y con los sentidos? ¿Qué preguntas se pueden plantear legítimamente acerca de tales entidades y qué técnicas se pueden emplear para buscar soluciones? Al menos en las ciencias maduras las respuestas (o lo que sustituya a las respuestas) a este tipo de preguntas se hallan firmemente engastadas en la iniciación educativa que prepara y califica a los estudiantes para practicar la profesión. Dado que esa educación es rigurosa y rígida, dichas respuestas llegan a atenazar profundamente la mente de los científicos. El hecho de que lo hagan contribuye en gran medida a explicar tanto la peculiar eficiencia de la actividad investigadora normal, como la dirección en la que avanza en cualquier momento específico. Al examinar la ciencia normal en los capítulos II, III y IV, habremos de describir finalmente esa investigación como un intento esforzado y entregado por forzar a la naturaleza a entrar en los compartimentos conceptuales suministrados por la educación profesional. Simultáneamente nos preguntaremos si la investigación podría tener lugar sin tales compartimentos, sea cual sea el elemento de arbitrariedad que exista en su origen histórico y tal vez en su desarrollo subsiguiente.

Con todo, ese elemento de arbitrariedad está presente y también él posee un importante efecto sobre el desarrollo científico, que se examinará con detalle en los capítulos VI, VII y VIII. La cien-

cia normal, la actividad en que la mayoría de los científicos emplean inevitablemente casi todo su tiempo, se asienta en el supuesto de que la comunidad científica sabe cómo es el mundo. Gran parte del éxito de la empresa deriva de la disposición de la comunidad para defender dicha suposición, pagando por ello un considerable precio si fuera necesario. Así, por ejemplo, es frecuente que la ciencia normal suprima novedades fundamentales porque necesariamente son subversivas en lo que respecta a sus compromisos básicos. No obstante, en la medida en que esos compromisos mantienen un elemento de arbitrariedad, la naturaleza misma de la investigación normal asegura que la novedad no será suprimida durante mucho tiempo. En ocasiones, un problema normal, esto es, un problema que habría de resolverse mediante reglas y procedimientos conocidos, resiste el reiterado asalto de los miembros más capaces del grupo bajo cuya responsabilidad cae. En otras ocasiones, un equipo experimental diseñado y construido para la investigación normal deja de funcionar del modo esperado, revelando una anomalía que, a pesar de los repetidos esfuerzos, no se puede ajustar a las expectativas profesionales. De esta y otras maneras similares, la ciencia normal se extravía una y otra vez, y cuando ello ocurre, esto es, cuando la profesión ya no puede hurtarse durante más tiempo a las anomalías que subvierten la tradición corriente de la práctica científica, entonces comienzan las investigaciones extraordinarias, que finalmente llevan a la profesión a un nuevo conjunto de compromisos, a una nueva base sobre la cual practicar la ciencia. Los episodios extraordinarios en los que se

produce un cambio en los compromisos profesionales se conocen en este ensayo como revoluciones científicas. Se trata de los episodios destructores-de-la-tradición que complementan a la actividad ligada-a-la-tradición de la ciencia normal.

Los ejemplos más obvios de revoluciones científicas son esos episodios famosos del desarrollo científico que ya a menudo se han venido tildado de revolucionarios. Así pues, en los capítulos IX y X, donde se examina por vez primera de modo directo la naturaleza de las revoluciones científicas, nos ocuparemos reiteradamente de los principales puntos de inflexión en el desarrollo científico ligados a los nombres de Copérnico, Newton, Lavoisier y Einstein. Estos episodios muestran de qué tratan todas las revoluciones científicas con mayor claridad que la mayoría de los demás episodios de la historia de la ciencia, al menos de las ciencias físicas. Todas ellas exigieron el rechazo por parte de la comunidad de una teoría científica en su día reverenciada en favor de otra incompatible con ella. Todas ellas produjeron un consiguiente desplazamiento en los problemas susceptibles de examen científico y en las normas con las cuales la profesión determinaba qué habría de contar como un problema admisible o como solución legítima de un problema. Además, todas ellas transformaron la imaginación científica de una manera que en última instancia deberemos describir como una transformación del mundo en el seno del cual se lleva a cabo el trabajo científico. Tales cambios, junto con las controversias que casi siempre los acompañan, constituyen las características definitorias de las revoluciones científicas.

Estas características surgen con especial claridad del estudio, digamos, de la revolución newtoniana o de la revolución química. No obstante, una de las tesis fundamentales de este ensayo es que también se pueden extraer del estudio de muchos otros episodios que no fueron tan obviamente revolucionarios. Así, para el grupo profesional más restringido afectado por ellas, las ecuaciones de Maxwell resultaron tan revolucionarias como las de Einstein, y consiguientemente fueron recibidas con resistencia. La invención de otras teorías novedosas evoca regular y adecuadamente la misma respuesta por parte de algunos de los especialistas sobre cuya área de competencia especializada inciden. Para estas personas, la nueva teoría entraña un cambio en las reglas que regían la práctica de la ciencia normal anterior. Por tanto resulta inevitable que ponga en tela de juicio gran parte del trabajo científico que dichas personas habían realizado ya de manera satisfactoria. Por esta razón la nueva teoría, por más restringido que sea su rango de aplicación, nunca o rara vez se limita a ser un mero añadido a lo que ya se conocía, pues su asimilación exige la reconstrucción de la teoría previa y la reevaluación de los hechos anteriores, un proceso intrínsecamente revolucionario que rara vez lleva a cabo una sola persona y nunca de la noche a la mañana. No es de extrañar que los historiadores hayan tenido dificultades a la hora de determinar con precisión el momento en que ha tenido lugar este proceso que se extiende en el tiempo y al que su vocabulario les induce a considerar como un suceso puntual aislado.

La invención de nuevas teorías no constituye el

único suceso científico que posee un impacto revolucionario sobre los especialistas en cuyo dominio tiene lugar. Los compromisos que rigen la ciencia normal no sólo especifican los tipos de entidades que contiene el universo, sino que además dan a entender indirectamente cuáles no contiene. Aunque este aspecto exigirá un examen más detallado, se sigue que un descubrimiento como el del oxígeno o el de los rayos X no se limita a añadir un nuevo elemento a la población del mundo científico. En última instancia acaba teniendo ese efecto, aunque eso no ocurre hasta que la comunidad de profesionales haya reevaluado los procedimientos experimentales tradicionales, haya alterado su concepción de las entidades con las que ha estado familiarizada mucho tiempo y en el proceso haya mudado la red teórica mediante la cual trata con el mundo. Los hechos y las teorías científicos no son categorías separables, excepto tal vez dentro de una única tradición de práctica de la ciencia normal. Por esta razón un descubrimiento inesperado no es puramente fáctico en su alcance, y por ese motivo el mundo del científico no sólo se transforma cualitativamente sino que también se enriquece cuantitativamente merced a las novedades fundamentales sean fácticas o teóricas.

Esta concepción ampliada de la naturaleza de las revoluciones científicas es la que se pergeña en las páginas que siguen. Hay que admitir que dicha extensión fuerza el uso ordinario. Sin embargo, seguiré denominando revolucionarios incluso los descubrimientos, porque lo que hace que la concepción ampliada se me antoje tan importante es precisamente la posibilidad de rela-

cionar la estructura de dichos descubrimientos con, pongamos por caso, la de la revolución copernicana. La discusión anterior indica de qué modo se desarrollarán las nociones complementarias de la ciencia normal y de las revoluciones científicas en las nueve secciones que siguen a continuación. El resto del ensayo trata de dar respuesta a las tres cuestiones centrales restantes. El capítulo XI, al examinar la tradición de los libros de texto, considera por qué las revoluciones científicas han sido antes tan difíciles de ver. El capítulo XII describe la competencia revolucionaria entre los partidarios de la vieja tradición de la ciencia normal y los que se adhieren a la nueva. De este modo considera el proceso que de algún modo habría de sustituir en una teoría de la revolución científica a los procedimientos de confirmación o falsación con los que estamos familiarizados debido a nuestra imagen usual de la ciencia. La competencia entre diferentes segmentos de la comunidad científica constituye el único proceso histórico que da lugar de hecho al rechazo de una teoría previamente aceptada o a la adopción de otra. Finalmente, el capítulo XIII planteará de qué modo el desarrollo a través de revoluciones puede ser compatible con el carácter aparentemente único del progreso científico. Ahora bien, a esta pregunta el presente ensayo sólo ofrecerá una respuesta a grandes rasgos, pues dicha respuesta depende de las características de la comunidad científica, lo que exige mucha más investigación y estudio.

No cabe duda de que algunos lectores se habrán preguntado ya si un estudio histórico tiene la posibilidad de llevar a cabo el tipo de transfor-

mación conceptual buscada aquí. Hay todo un arsenal de dicotomías disponibles que sugieren que propiamente hablando la historia no puede hacer tal cosa. Demasiado a menudo decimos que la historia es una disciplina puramente descriptiva. Con todo, las tesis sugeridas más arriba son a menudo interpretativas y algunas veces normativas. Una vez más, muchas de mis generalizaciones versan acerca de la sociología o de la psicología social de los científicos; sin embargo, algunas al menos de mis conclusiones pertenecen a lo que tradicionalmente es la lógica o la epistemología. Incluso se puede haber dado la impresión de que en el párrafo precedente he violado la influyente distinción contemporánea entre "el contexto de descubrimiento" y "el contexto de justificación". ¿Esta mezcla de campos y preocupaciones diversos puede indicar algo más que una profunda confusión?

Habiéndome formado intelectualmente con estas y otras distinciones similares, difícilmente podría ser más consciente de su alcance y de su fuerza. Durante muchos años consideré que versaban acerca de la naturaleza del conocimiento y aún supongo que, apropiadamente reformuladas, tienen algo importante que decirnos. Sin embargo, mis intentos de aplicarlas, siquiera sea *grosso modo*, a las situaciones de hecho en las que se adquiere, se acepta y se asimila el conocimiento han hecho que parezcan extraordinariamente problemáticas. Más que distinciones lógicas o metodológicas elementales, con lo que serían previas al análisis del conocimiento científico, parecen ser más bien parte integrante de un conjunto tradicional de respuestas sustanciales a esas mismas

preguntas respecto de las cuales se han planteado. Esta circularidad no las invalida en absoluto, pero las convierte en partes de una teoría y, al hacerlo, las somete al mismo escrutinio que se aplica regularmente a las teorías en otros campos. Si han de tener como contenido algo más que una pura abstracción, entonces dicho contenido ha de descubrirse observando su aplicación a los datos que tratan de dilucidar. ¿Cómo podría dejar de ser la historia de la ciencia una fuente de fenómenos a los que se podría pedir legítimamente que se aplicaran las teorías acerca del conocimiento?

II. EL CAMINO HACIA LA CIENCIA NORMAL

En este ensayo *ciencia normal* significa la investigación basada firmemente en uno o más logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica ulterior. Hoy en día tales logros se recogen en los libros de texto científicos, tanto elementales como avanzados, aunque rara vez en su forma original. Dichos libros de texto exponen el cuerpo de la teoría aceptada, ilustran muchas o todas sus aplicaciones afortunadas y confrontan tales aplicaciones con ejemplos de observaciones y experimentos. Antes de que tales libros se hicieran populares a comienzos del siglo XIX (incluso en fechas más recientes en las ciencias que han madurado después), muchos de los famosos clásicos de la ciencia desempeñaban una función semejante. La *Física* de Aristóteles, el *Almagesto* de Tolomeo, los *Principios* y la *Óptica* de Newton, la *Electricidad* de Franklin, la *Química* de Lavoisier y la *Geología* de Lyell, junto con muchas otras obras, sirvieron durante algún tiempo para definir los problemas y métodos legítimos de investigación para las sucesivas generaciones de científicos. Eran capaces de hacer tal cosa porque compartían dos características esenciales. Sus realizaciones carecían hasta tal punto de precedentes, que eran capaces de atraer a un grupo duradero de partidarios alejándolos de los modos rivales de actividad

científica, y a la vez eran lo bastante abiertas para dejarle al grupo de profesionales de la ciencia así definido todo tipo de problemas por resolver.

En adelante me referiré con el término *paradigmas* a los logros que comparten estas dos características, término que se conecta estrechamente con el de *ciencia normal*. Al elegir este término, es mi intención sugerir que algunos ejemplos aceptados de práctica científica efectiva, ejemplos que incluyen conjuntamente leyes, teorías, aplicación e instrumentación, suministran modelos de los que surgen tradiciones particulares y coherentes de investigación científica. Son las tradiciones que el historiador describe con rúbricas tales como "astronomía tolemaica" (o "copernicana"), "óptica corpuscular" (u "óptica ondulatoria"), etc. El estudio de los paradigmas, incluyendo entre ellos algunos mucho más especializados que los nombrados arriba a guisa de ejemplo, preparan fundamentalmente al estudiante para convertirse en miembro de la comunidad científica particular en la que habrá de trabajar más adelante. Puesto que en ella se encuentra con personas que aprendieron los fundamentos de su campo con los mismos modelos concretos, su práctica subsiguiente rara vez despertará discrepancias expresas sobre cuestiones fundamentales. Las personas cuya investigación se fundamenta en paradigmas compartidos se encuentran comprometidas con las mismas reglas y normas de práctica científica. Dicho compromiso y el aparente consenso que produce son prerrequisitos de la ciencia normal; esto es, del nacimiento y prosecución de una tradición investigadora particular.

Dado que en este ensayo el concepto de paradigma aparecerá a menudo en lugar de toda una serie de nociones familiares, habremos de explayarnos un tanto sobre las razones de su introducción. ¿Por qué el logro científico, en cuanto núcleo del compromiso profesional, es previo a los diferentes conceptos, leyes, teorías y puntos de vista que de él se puedan extraer? ¿En qué sentido constituye el paradigma compartido una unidad fundamental para el estudioso del desarrollo científico, unidad que no se puede traducir completamente a los componentes lógicamente atómicos que podrían funcionar en su lugar? Cuando encontremos en el capítulo v respuestas a estas cuestiones y otras similares, ellas resultarán fundamentales para comprender tanto la ciencia normal como el concepto asociado de paradigma. La discusión más abstracta, no obstante, se asentará sobre una exposición previa a ejemplos de ciencia normal o de paradigmas en acción. En concreto, ambos conceptos relacionados se clarificarán reparando en que puede haber un tipo de investigación científica sin paradigmas, o al menos sin alguno tan inequívoco y tan absorbente como los mencionados antes. La adquisición de un paradigma y del tipo de investigación más esotérico que éste permite es un signo de madurez en el desarrollo de un campo científico dado.

Si el historiador rastrea en el tiempo el conocimiento científico de un grupo seleccionado de fenómenos relacionados, lo más probable es que encuentre alguna variante menor de un patrón ilustrado aquí con la historia de la óptica física. Los libros de texto actuales le cuentan al estudiante que la luz está formada por fotones, esto

es, entidades mecánico-cuánticas que muestran algunas características de las ondas y algunas de las partículas. La investigación procede de acuerdo con ello, o más bien de acuerdo con la caracterización más elaborada y matemática de la que se deriva esta acostumbrada descripción verbal. No obstante, esa caracterización de la luz apenas tiene medio siglo. Antes de que la desarrollaran Plank, Einstein y otros a comienzo de este siglo [siglo xx], los textos de física enseñaban que la luz era un movimiento ondulatorio transversal, una concepción enraizada en un paradigma que en última instancia derivaba de los escritos ópticos de Young y de Fresnel a comienzos del siglo XIX. Tampoco la teoría ondulatoria fue la primera que abrazaron casi todos los practicantes de la ciencia óptica. Durante el siglo XVIII el paradigma de este campo lo suministraba la *Óptica* de Newton, que enseñaba que la luz estaba compuesta por corpúsculos materiales. En aquella época, los físicos buscaban pruebas, cosa que no hacían los primeros teóricos ondulatorios, en la presión ejercida por las partículas de luz al chocar con los cuerpos sólidos.[1]

Estas transformaciones de los paradigmas de la óptica física constituyen revoluciones científicas y las sucesivas transiciones de un paradigma a otro mediante una revolución constituyen el patrón usual de desarrollo de la ciencia madura. Sin embargo, no es el patrón característico del periodo anterior a la obra de Newton, siendo ese contraste el que aquí nos interesa. No hay periodo alguno entre la remota antigüedad y el final del siglo XVII que exhiba un punto de vista único, aceptado por todos, acerca de la naturaleza de la luz. En lugar de ello, nos encontramos un diferente número de escuelas y subescuelas rivales, la mayoría de las cuales abrazaba una variante u otra de las teorías epicureístas, aristotélicas o platónicas. Un grupo consideraba que la luz constaba de partículas que emanaban de los cuerpos materiales; para otro, era una modificación del medio interpuesto entre el cuerpo y el ojo; otro explicaba la luz en términos de una interacción entre el medio y una emanación del ojo, dándose además otras combinaciones y modificaciones de estas ideas. Cada una de las escuelas correspondientes se apoyaba en su relación con alguna metafísica concreta y todas ellas hacían hincapié en el conjunto particular de fenómenos ópticos que su propia teoría explicaba mejor, distinguiéndolos como observaciones paradigmáticas. Otras observaciones se abordaban con elaboraciones *ad hoc* o quedaban como problemas relevantes para investigaciones ulteriores.[2]

En diferentes momentos todas estas escuelas hicieron contribuciones significativas al cuerpo de conceptos, fenómenos y técnicas de los que Newton extrajo el primer paradigma de la óptica física aceptado de manera casi uniforme. Cualquier definición de científico que excluya al menos a los miembros más creativos de estas diversas escuelas, excluirá también a sus sucesores modernos. Esas personas eran científicos. Sin em-

[1] Joseph Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (Londres, 1772), pp. 385-390.

[2] Vasco Ronchi, *Histoire de la Lumière*, trad. Juliette Taton (París, 1956), caps. I-IV.

bargo, quien examine una panorámica de la óptica física anterior a Newton podría concluir perfectamente que, por más que los practicantes de este campo fuesen científicos, el resultado neto de su actividad no llegaba a ser plenamente ciencia. Al ser incapaz de dar por supuesto un cuerpo común de creencias, cada autor de óptica física se veía obligado a construir de nuevo su campo desde sus fundamentos. Al hacerlo, la elección de las observaciones y experimentos que apoyaban su punto de vista era relativamente gratuito, pues no había un conjunto normal de métodos o de fenómenos que todo autor de óptica se viese obligado a emplear y explicar. En estas circunstancias, el diálogo de los libros resultantes se dirigía a menudo tanto a los miembros de otras escuelas como a la naturaleza. Este patrón no es desusado hoy en día en algunos campos creativos, y no es incompatible con descubrimientos e inventos de importancia. No es, sin embargo, el patrón de desarrollo adquirido por la óptica física después de Newton y que para otras ciencias es, hoy en día, familiar.

La historia de la investigación eléctrica en la primera mitad del siglo XVIII nos suministra un ejemplo más concreto y mejor conocido del modo en que se desarrolla una ciencia antes de adquirir su primer paradigma universalmente aceptado. Durante dicho periodo había casi tantos puntos de vista acerca de la naturaleza de la electricidad como experimentadores eléctricos importantes, personas como Hauksbee, Gray, Desaguliers, Du Fay, Nollet, Watson, Franklin y otros. Sus diversos conceptos de electricidad tenían algo en común: se derivaban en parte de una u otra versión

de la filosofía mecánico-corpuscular que guiaba a la sazón toda la investigación científica. Además, todos ellos formaban parte de teorías científicas reales, de teorías que se habían extraído en parte de experimentos y observaciones y que parcialmente determinaban la elección e interpretación de los problemas ulteriores sometidos a investigación. Con todo, por más que todos los experimentos fuesen eléctricos, y por más que la mayoría de los experimentadores leyesen las obras de los demás, sus teorías sólo presentaban un parecido de familia.[3]

Siguiendo la práctica del siglo XVII, un grupo primitivo de teorías consideraba la atracción y la generación por fricción como los fenómenos eléctricos fundamentales. Este grupo tendía a tratar

[3] Duane Roller y Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb* (Harvard Case Histories in Experimental Science, Case 8; Cambridge, Massachusetts, 1954); y I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Enquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Filadelfia, 1956), caps. VII-XII. Para algunos de los detalles analíticos del párrafo que sigue en el texto estoy en deuda con un artículo aún sin publicar de mi alumno John L. Heilbron. Se puede encontrar una explicación algo más extensa y precisa del surgimiento del paradigma de Franklin, aún pendiente de publicación, en T. S. Kuhn, "The Function of Dogma in Scientific Research", en A. C. Crombie (ed.), "Symposium on the History of Science, University of Oxford, July 9-15 1961", que publicará Heinemann Educational Books [Véase A. C. Crombie (ed.), *Historical Studies in the Intellectual, Social and Technological Conditions for Scientific Discovery and Technical Invention from Antiquity to the Present*, Heinemann Educational Books, 1963, pp. 347-369. El artículo de Kuhn se ha traducido al español como un folleto, *La función del dogma en la investigación científica*, Universidad de Valencia, Servicio de Publicaciones, 1980.]

la repulsión como un efecto secundario debido a algún tipo de rebote mecánico, posponiendo así lo más posible tanto la discusión como la investigación sistemática del nuevo efecto de la conducción eléctrica, recientemente descubierto por Gray. Otros *electricistas* (el término es suyo) consideraban que la atracción y la repulsión eran manifestaciones igualmente elementales de la electricidad, por lo que modificaron consiguientemente sus teorías y su investigación. (De hecho, este grupo es considerablemente pequeño, e incluso la teoría de Franklin no explicó nunca del todo la repulsión mutua de dos cuerpos cargados negativamente.) Sin embargo, encontraban las mismas dificultades que el primer grupo para explicar simultáneamente todo lo que no fueran los efectos de conducción más simples. Con todo, tales efectos suministraron el punto de partida de un tercer grupo, cuyos miembros tendían a hablar de la electricidad como de un "fluido" que podría discurrir por los conductores más bien que como un "efluvio" que emanase de los no conductores. Este grupo, a su vez, tenía dificultades a la hora de reconciliar su teoría con algunos efectos atractivos y repulsivos. Tan sólo gracias al trabajo de Franklin y sus seguidores inmediatos surgió una teoría capaz de explicar con facilidad aproximadamente igual casi todos estos efectos y por consiguiente pudo suministrar y suministró a la siguiente generación de "electricistas" un paradigma común para su investigación.

Excluyendo campos como el de las matemáticas y el de la astronomía, en los que los primeros paradigmas datan de la prehistoria, y excluyendo asimismo aquellos que, como la bioquímica, surgieron por división y recombinación de especialidades ya maduras, las situaciones antes bosquejadas son históricamente típicas. Aunque entraña continuar utilizando la desafortunada simplificación que etiqueta un episodio prolongado en el tiempo con un nombre único y hasta cierto punto arbitrario (por ejemplo Newton o Franklin), sugiero que algunos desacuerdos fundamentales de carácter similar caracterizan, por ejemplo, el estudio del movimiento antes de Aristóteles y de la estática antes de Arquímedes, el estudio del calor antes de Black o de la química antes de Boyle y Boerhaave, y el de la geología histórica antes de Hutton. En algunas partes de la biología, por ejemplo en el estudio de la herencia, los primeros paradigmas universalmente aceptados son aún más recientes, siendo aún una cuestión abierta qué partes de la ciencia social habrían adquirido ya tales paradigmas. La historia sugiere que el camino hacia un firme consenso en la investigación es extraordinariamente arduo.

Sin embargo, la historia también sugiere algunas razones para las dificultades que se interponen en dicho camino. En ausencia de algún paradigma o de algún candidato a paradigma, es probable que parezcan igualmente relevantes todos los hechos que podrían corresponder al desarrollo de una ciencia dada. Como resultado de ello, la primitiva recogida de datos es una actividad mucho más aleatoria que la familiar en el desarrollo científico posterior. Además, en ausencia de una razón para buscar algún tipo particular de información más recóndita, la primitiva recolección de hechos se limita usualmente a la multitud de datos que está al alcance de la mano.

El conjunto resultante de hechos contiene los que son accesibles a la observación y experimentación casuales junto con algunos de los datos más esotéricos obtenibles de artes ya establecidas, como la medicina, el cómputo del calendario y la metalurgia. Dado que las artes son una fuente fácilmente accesible de hechos que no se podrían haber descubierto por casualidad, la tecnología ha desempeñado a menudo una función vital en el surgimiento de nuevas ciencias.

Pero si bien este tipo de recolección de hechos ha resultado esencial para la gestación de muchas ciencias importantes, quienquiera que examine, por ejemplo, los escritos enciclopédicos de Plinio o las historias naturales de Bacon, descubrirá que lo que producen es un cenagal. Hasta cierto punto, dudamos de calificar como científicas a las obras resultantes. Las "historias" baconianas del calor, el color, los vientos, la minería, etc., están llenas de informaciones, algunas de las cuales resultan arcanas. Sin embargo, yuxtaponen hechos que andando el tiempo resultarán reveladores (por ejemplo el calentamiento por mezcla) junto con otros (por ejemplo, el calor de las pilas de estiércol) que durante una buena época serán demasiado complejos para integrarse en alguna teoría.[4] Además, puesto que cualquier descripción tiene que ser parcial, las historias naturales típicas tienden a omitir de sus listas enormemente circunstanciales precisamente aquellos

[4] Véase el bosquejo de una historia natural del calor en el *Novum Organum*, vol. VIII de *The Works of Francis Bacon*, J. Spedding, R. L. Ellis y D. D. Heath (eds.) (Nueva York, 1869), pp. 169-203 [traducción española, *La gran restauración*, Madrid, Alianza, 1985, pp. 200-226].

detalles en los que los científicos del futuro hallarán fuentes especialmente reveladoras. Así por ejemplo, casi ninguna de las primitivas "historias" de la electricidad mencionan el hecho de que las partículas atraídas por una barra de vidrio frotado rebotan de nuevo. Tal efecto parecía ser mecánico y no eléctrico.[5] Además, puesto que la recolección casual de hechos rara vez dispone del tiempo o de las herramientas para ser crítica, las historias naturales yuxtaponen a menudo descripciones como las de más arriba con otras que hoy somos totalmente incapaces de confirmar, como, por ejemplo, el calentamiento por antiperistasis (o por enfriamiento).[6] Sólo muy de tarde en tarde, como ocurre en los casos de la estática, la dinámica o la óptica geométrica antiguas, los hechos recogidos con tan escasa guía de las teorías preestablecidas hablan con la suficiente claridad como para permitir que surja un primer paradigma.

[5] Roller y Roller, *The Development*, pp. 14, 22, 28, 43. Sólo después de la obra recogida en la última de estas citas, los efectos repulsivos se reconocieron en general como de carácter inequívocamente eléctrico.

[6] Bacon (*Novum Organum*, pp. 235, 337) dice, "el agua ligeramente templada se congela más fácilmente que la muy fría". [Traducción citada, p. 352.] Este hecho, mencionado desde Aristóteles (*Meteoros*, 248b31) hasta Descartes (*Meteoros*, fin del primer discurso), se conoce ahora como efecto Mpemba por el estudiante tanzano que llamó la atención sobre él en los años sesenta del siglo pasado, gracias al cual se ha observado en varios laboratorios de EUA. La explicación del efecto en términos de evaporación, convención, contenido gaseoso y otros factores dista de ser concluyente. (T.)] Para una explicación parcial de la historia antigua de esta extraña observación, véase Marshall Clagett, *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (Nueva York, 1941), cap. v.

Es ésta la situación que crean las escuelas típicas de los primeros estadios del desarrollo de una ciencia. Ninguna historia natural se puede interpretar en ausencia de al menos algún cuerpo implícito de creencias teóricas y metodológicas entrelazadas que hagan posible la selección, la evaluación y la crítica. Si este cuerpo de creencias no está ya implícito en la colección de hechos, en cuyo caso disponemos de algo más que de "meros hechos", entonces ha de tomarse de fuera, quizá de una metafísica dominante, de otra ciencia o de circunstancias personales e históricas. No es de extrañar, por tanto, que en los primeros estadios de desarrollo de una ciencia, distintas personas describan e interpreten de modos diferentes el mismo rango de fenómenos, aunque usualmente no se trate exactamente de los mismos fenómenos concretos. Lo que es sorprendente y también quizá único en los campos que llamamos ciencia es que tal grado inicial de divergencia acabe desapareciendo hasta tal punto.

En efecto, desaparecen en muy considerable medida y, por lo que parece, de una vez por todas. Además, su desaparición está normalmente provocada por el triunfo de una de las escuelas preparadigmáticas que, debido a sus propias creencias y preconcepciones características, prestaba atención tan sólo a una parte restringida de aquella masa de información desmesurada e informe. Los electricistas que consideraban a la electricidad como un fluido y que, por tanto, hacían hincapié en la conducción, suministran un excelente ejemplo a este respecto. Inspirados por su creencia, que difícilmente podía enfrentarse a la conocida multiplicidad de efectos atractivos y repulsivos, varios de ellos concibieron la idea de embotellar el fluido eléctrico. El fruto inmediato de sus esfuerzos fue la botella de Leyden, un artilugio que jamás hubiera podido ser descubierto por una persona que explorara la naturaleza de modo casual o aleatorio, y que fue de hecho desarrollada independientemente por al menos dos investigadores a comienzos de la década de 1740.[7] Casi desde el comienzo de sus investigaciones eléctricas, Franklin se preocupó especialmente de explicar este aparato tan extraño y que resultaría ser particularmente revelador. Su éxito en esta tarea suministró el argumento más efectivo para convertir su teoría en un paradigma, por más que fuera aún incapaz de explicar todos los casos conocidos de repulsión eléctrica.[8] Para ser aceptada como paradigma, una teoría debe parecer mejor que sus competidoras, pero no tiene por qué explicar todos los hechos a los que se enfrenta y de hecho nunca lo hace.

Lo que hizo la teoría de la electricidad como fluido para el subgrupo que la sostenía, lo hizo más tarde el paradigma de Franklin para todo el grupo de los electricistas. Sugería qué experimentos merecería la pena hacer y cuáles no porque se dirigían a manifestaciones de la electricidad secundarias o demasiado complejas. Pero el paradigma hizo la tarea de una manera mucho más efectiva en parte porque el fin del debate entre escuelas acabó con las constantes reiteraciones de los aspectos fundamentales y en parte por-

[7] Roller y Roller, *The Development*, pp. 51-54.

[8] El caso problemático era la repulsión mutua de los cuerpos cargados negativamente, sobre el cual véase Cohen, *Franklin and Newton*, pp. 491-494, 531-543.

que la confianza en que se hallaban en la vía correcta animó a los científicos a emprender tipos de trabajo más precisos, más esotéricos y más costosos.[9] Libres de la preocupación por todos y cada uno de los fenómenos eléctricos, el grupo unido de los electricistas podría examinar con mucho más detalle ciertos fenómenos selectos, diseñando para la tarea un equipo experimental muy especializado y utilizándolo de una manera mucho más sistemática y obstinada de lo que los electricistas habían hecho antes. Tanto la recogida de hechos como la articulación teórica se convirtieron en actividades estrictamente dirigidas, por lo que la efectividad y la eficiencia de la investigación eléctrica aumentó consiguientemente, apoyando así una versión social de la aguda consigna metodológica de Francis Bacon según la cual "la verdad emerge más fácilmente del error que de la confusión".[10]

En el siguiente capítulo examinaremos la naturaleza de esta investigación estrictamente dirigida

[9] Habría que señalar que la aceptación de la teoría de Franklin no acabó totalmente con los debates. En 1759 Robert Symmer propuso una versión de dicha teoría que recurría a dos fluidos, y durante muchos años los electricistas se dividieron entre si la electricidad era un solo fluido o dos. Pero los debates sobre este tema no hacen más que confirmar lo que se ha dicho antes acerca del modo en que un logro reconocido universalmente une a la profesión. Aunque continuaron divididos sobre este punto, los electricistas concluyeron rápidamente que ninguna prueba experimental tenía la menor posibilidad de distinguir las dos versiones de la teoría las cuales, por lo tanto, eran equivalentes. Tras ello ambas escuelas podían explotar, y de hecho lo hicieron, todos los beneficios ofrecidos por la teoría de Franklin (*ibidem*, pp. 543-546, 548-554).

[10] Bacon, *Novum Organum*, p. 210 [traducción española, p. 232].

o basada en paradigmas, pero antes de ello hemos de reparar brevemente en cómo el surgimiento de un paradigma afecta a la estructura de un grupo que trabaja en un campo. Cuando en el transcurso del desarrollo de la ciencia natural, una persona o un grupo produce por primera vez una síntesis capaz de atraer a la mayoría de los profesionales de la siguiente generación, las escuelas más antiguas desaparecen gradualmente. En parte su desaparición está provocada por la conversión de sus miembros al nuevo paradigma, pero siempre hay algunas personas que se aferran a uno u otro de los viejos puntos de vista y simplemente son eliminados de la profesión, que a partir de entonces ignora sus trabajos. El nuevo paradigma entraña una nueva y más rígida definición del campo. Los que no quieren o no pueden acomodar su trabajo a él han de proceder aisladamente o unirse a otro grupo.[11] Históricamente, lo normal es que se hayan limitado a permanecer en los departamentos de filosofía en los que se han gestado tantas de las ciencias especiales. Como muestran estas indicaciones, a veces basta con que reciba un paradigma para que un grupo que antes se interesaba solamente en el estudio de la naturaleza se transforme en una profesión o al menos en una disciplina. En las ciencias (aunque no en campos como la medicina, la tecnología o el derecho, cuya principal razón de

[11] La historia de la electricidad suministra un excelente ejemplo que se podría encontrar en las carreras de Priestley, Kelvin y otros. Franklin nos informa de que Nollet, quien a mitad de siglo era el electricista continental más influyente, "vivió lo bastante para verse convertido en el último de su secta, con la excepción del Sr. D.— su alumno y discípulo inmediato" (Max

ser se encuentra en una necesidad social externa), la formación de revistas especializadas, la fundación de sociedades de especialistas y la exigencia de un lugar especial en el currículum se asocian normalmente con la recepción inicial por parte del grupo de un paradigma único. Al menos así ocurrió entre el momento, hace siglo y medio, en que se desarrolló por vez primera el patrón institucional de especialización científica y el momento muy reciente en que la parafernalia de la especialización adquirió un prestigio propio.

La definición más rígida del grupo científico posee otras consecuencias. Cuando el científico individual puede dar por supuesto un paradigma, ya no necesita construir de nuevo su campo en sus obras principales, partiendo de los primeros principios y justificando el uso de cada uno de los conceptos introducidos. Eso puede quedar para el autor de libros de texto. Dado un libro de texto, no obstante, el científico creador puede iniciar su investigación donde ese termina, concentrándose exclusivamente en los aspectos más sutiles y más esotéricos de los fenómenos naturales de que se

Farrand [ed.], *Benjamin Franklin's Memoirs* [Berkeley, 1949], pp. 384-386). Con todo, resulta más interesante la resistencia de escuelas enteras en medio de un creciente aislamiento de la ciencia profesional. Considérese por ejemplo el caso de la astrología, que fue en tiempos parte integrante de la astronomía. O considérese la prosecución a finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX de una tradición otrora respetada de química "romántica". Trátase de la tradición discutida por Charles Gillispie en "The *Encyclopédie* and the Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences", *Critical Problems in the History of Science,* Marshall Clagett (ed.) (Madison, 1959), pp. 255-289; y "The Formation on Lamarck's Evolutionary Theory", *Archives internationales d'histoire des sciences*, XXXVII (1956), 323-338.

ocupa su grupo. Y, en la medida en que lo hace, sus informes de investigación comenzarán a transformarse en modos cuya evolución ha sido muy poco estudiada, aunque su resultado moderno es obvio para todos y opresivo para muchos. No será frecuente que sus investigaciones se sigan incluyendo en libros dirigidos a cualquiera que pueda interesarse en el tema del campo, como el libro de Franklin *Experiments... on Electricity* o el de Darwin, *Origin of Species.* Por el contrario aparecerán normalmente en forma de artículos breves dirigidos exclusivamente a los colegas profesionales, las personas de las que se puede suponer que tienen conocimiento de un paradigma compartido y que resultan ser las únicas capaces de leer los artículos a ellas dirigidas.

Actualmente, en el terreno de las ciencias, normalmente los libros o bien son textos o bien son reflexiones retrospectivas sobre un aspecto u otro de la vida científica. Lo más probable es que el científico que lo escriba encuentre que su reputación profesional disminuye en lugar de aumentar. Sólo en los antiguos estadios preparadigmáticos del desarrollo de las diversas ciencias ordinariamente los libros poseían la misma relación con los logros profesionales que aún tienen en otros campos creativos. Y solamente en aquellos campos que aún utilizan libros, con o sin artículos, como vehículo de comunicación de la investigación, las líneas de la profesionalización se hallan aún tan débilmente trazadas que las personas ordinarias pueden aspirar a seguir el progreso leyendo los informes originales de los profesionales. Tanto en matemáticas como en astronomía, los informes de investigación cesaron ya en la anti-

güedad de resultar inteligibles al público educado general. La investigación en dinámica se volvió asimismo esotérica al final de la Edad Media para recuperar la comprensibilidad general tan sólo brevemente al comienzo del siglo XVII, momento en que un nuevo paradigma sustituyó al que había guiado la investigación medieval. La investigación eléctrica comenzó a necesitar una traducción para las personas comunes antes del final del siglo XVIII y la mayoría de los campos de la física dejaron de ser generalmente accesibles en el siglo XIX. En esos dos mismos siglos se pueden detectar transiciones similares en diferentes partes de las ciencias biológicas, y en algunas áreas de las ciencias sociales pueden estar teniendo lugar perfectamente hoy en día. Aunque se ha convertido en un lugar común, sin duda aceptable, deplorar la creciente brecha que separa al científico profesional de sus colegas de otros campos, se ha prestado muy escasa atención a la relación esencial que media entre dicha brecha y los mecanismos intrínsecos al avance de la ciencia.

Desde la antigüedad prehistórica, un campo de estudio tras otro ha ido cruzando la línea divisoria que media entre lo que el historiador llamaría su prehistoria como ciencia y su historia propiamente dicha. Estas transiciones a la madurez pocas veces han sido tan repentinas o tan inequívocas como podría haber dado a entender mi explicación necesariamente esquemática. Pero tampoco han sido históricamente graduales, es decir coextensivas con todo el desarrollo de los campos en los que se han dado. Los autores sobre temas de electricidad a lo largo de las primeras cuatro décadas del siglo XVIII poseían mucha más información sobre los fenómenos eléctricos de la que tenían sus predecesores del siglo XVI. Durante el medio siglo posterior a 1740 no se añadieron muchos tipos nuevos de fenómenos eléctricos a sus listas. No obstante, en aspectos importantes, los escritos eléctricos de Cavendish, Coulomb y Volta en el último tercio del siglo XVIII parecen mucho más lejanos de los de Gray, Dufay e incluso Franklin de lo que los escritos de estos descubridores eléctricos de comienzos del siglo XVIII lo están de los del siglo XVI.[12] En algún momento entre 1740 y 1780 los electricistas fueron capaces por vez primera de dar por supuestos los fundamentos de su campo. A partir de ese momento, procedieron a abordar problemas más concretos y recónditos y cada vez en mayor medida expusieron sus resultados en artículos dirigidos a otros electricistas, más bien que en libros escritos para el mundo culto en general. Adquirieron como grupo lo que habían logrado los astrónomos en la antigüedad y los estudiosos del movimiento en la Edad Media, los de la óptica física a finales del siglo XVII y los de la geología histórica a comienzos del XIX. Esto es, lograron establecer un paradigma que

[12] Los desarrollos posteriores a Franklin incluyen un enorme aumento en la sensibilidad de los detectores de carga, las primeras técnicas confiables y ampliamente difundidas para medir la carga, la evolución del concepto de capacidad y su relación con una noción recientemente refinada de tensión eléctrica y la cuantificación de la fuerza electrostática. Sobre todos ellos véase Roller y Roller, *The Development*, pp. 66-81; W. C. Walker, "The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century", *Annals of Science*, I (1936), pp. 66-100; y Edmund Hoppe, *Geschichte der Elektrizität* (Leipzig, 1884), Parte I, caps. III-IV.

demostró ser capaz de guiar la investigación de todo el grupo. Exceptuando la perspectiva que da ver las cosas retrospectivamente, es difícil hallar otro criterio que declare con tanta claridad que un campo dado constituye una ciencia.

III. LA NATURALEZA DE LA CIENCIA NORMAL

¿CUÁL ES entonces la naturaleza de la investigación más profesional y esotérica a que da lugar la recepción de un paradigma único por parte de un grupo? Si el paradigma representa el trabajo que ha sido realizado de una vez por todas, ¿qué otros problemas deja para que los resuelva el grupo cohesionado? Tales cuestiones parecerán tanto más urgentes si reparamos ahora en un aspecto en el que los términos empleados hasta el momento pueden llamar a error. Según su uso establecido, un paradigma es un modelo o patrón aceptado y este aspecto de su significado me ha permitido apropiarme aquí del término *paradigma* a falta de otro mejor. Pero como pronto quedará claro, el sentido de 'modelo' y 'patrón' que permite dicha apropiación no es exactamente el mismo que se usa al definir *paradigma*. En gramática, por ejemplo, *amo, amas, amat* es un paradigma porque muestra el patrón que se ha de usar al conjugar un gran número de otros verbos latinos para producir por ejemplo *laudo, laudas, laudat*. Según esta aplicación normal, el paradigma funciona permitiendo la repetición de ejemplos cada uno de los cuales podría servir en principio para sustituirlo. Por otro lado, en la ciencia un paradigma rara vez es un objeto que se pueda replicar. Por el contrario, es un objeto que debe articularse y especificarse ulteriormente en condiciones nuevas o más rigurosas, al modo

de una decisión judicial aceptada que sienta precedente.

Para mostrar cómo puede ser así hemos de reconocer hasta qué punto el paradigma puede ser notablemente limitado tanto en amplitud como en precisión en el momento en que surge. Los paradigmas alcanzan su posición porque tienen más éxito que sus competidores a la hora de resolver unos cuantos problemas que el grupo de científicos practicantes considera urgentes. Tener más éxito, con todo, no es lo mismo que ser completamente afortunado en la resolución de un único problema ni notablemente afortunado con un gran número de problemas. El éxito de un paradigma en sus momentos iniciales consiste en gran medida en una promesa de éxitos detectable en ejemplos seleccionados y aún incompletos, como es el caso con el análisis del movimiento de Aristóteles, el cómputo de las posiciones planetarias de Ptolomeo, la aplicación de la balanza de Lavoisier o la matematización del campo electromagnético de Maxwell. La ciencia normal consiste en la actualización de dicha promesa, actualización que se logra extendiendo el conocimiento de aquellos hechos que el paradigma exhibe como especialmente reveladores, aumentando la medida en que esos hechos encajan con las predicciones del paradigma, así como articulando más aún el paradigma mismo.

Pocas personas que no sean de hecho científicos practicantes de una ciencia madura se darán cuenta de hasta qué punto un paradigma deja sin hacer una gran cantidad de trabajo de retoque de este tipo, o lo fascinante que puede ser la ejecución de dicho trabajo. Hay que comprender estos aspectos. Las operaciones de retoque ocupan a la mayoría de los científicos a lo largo de sus carreras. Constituyen lo que llamo aquí ciencia normal. Si se examina detenidamente, sea históricamente o en el laboratorio contemporáneo, dicha empresa parece ser un intento de meter a la fuerza a la naturaleza en los compartimentos prefabricados y relativamente inflexibles suministrados por el paradigma. Entre los objetivos de la ciencia normal no hay ninguno que exija nuevos tipos de fenómenos, y en realidad los que no encajan en esos compartimentos frecuentemente ni siquiera se ven. Tampoco entra normalmente entre los objetivos de los científicos inventar teorías nuevas, y a menudo son intolerantes con las inventadas por otros.[1] Por el contrario, la investigación en la ciencia normal se orienta a la articulación de los fenómenos y teorías ya suministrados por el paradigma.

Quizá sean defectos. Las áreas investigadas por la ciencia normal son minúsculas, por supuesto, pues la empresa que ahora se discute posee una visión drásticamente reducida. Sin embargo, tales restricciones surgidas de la confianza en un paradigma resultan ser esenciales para el desarrollo de la ciencia. Al centrar la atención en un rango pequeño de problemas relativamente esotéricos, el paradigma obliga a los científicos a investigar algunas partes de la naturaleza con un detalle y una profundidad que de otro modo sería inimaginable. Además la ciencia normal incorpora un mecanismo que asegura el relajamiento de

[1] Bernard Barber, "Resistance by Scientists to Scientific Discovery", *Science*, CXXXVI (1961), pp. 596-602.

las restricciones que atan a la investigación cuando el paradigma del que derivan deja de funcionar de manera efectiva. En este punto los científicos comienzan a comportarse de modo distinto y cambia la naturaleza de los problemas que investigan. Sin embargo, entre tanto, en el periodo en el que el paradigma tiene éxito, la profesión habrá resuelto problemas cuyos miembros difícilmente se habrían imaginado y que nunca se hubieran planteado sin el compromiso con el paradigma. Y al final una parte de los logros resulta siempre ser permanente.

A fin de mostrar con mayor claridad qué se entiende por investigación normal o basada en paradigmas, permítaseme ahora tratar de clasificar y ejemplificar los problemas de que consta principalmente la ciencia normal. Por motivos de conveniencia pospondré la actividad teórica y comenzaré con la recogida de hechos, esto es, con los experimentos y observaciones descritos en las revistas técnicas con las que los científicos informan a los colegas de su profesión acerca de los resultados de su investigación corriente. ¿Sobre qué aspectos de la naturaleza informan normalmente los científicos? ¿Qué determina su elección? Y dado que la mayor parte de la observación científica consume mucho tiempo, equipo y dinero, ¿qué motiva a los científicos para proseguir con su elección hasta alcanzar una conclusión?

Creo que hay sólo tres núcleos normales de investigación científica fáctica que no son distintos siempre ni de manera permanente. En primer lugar, está la clase de hechos que, según ha mostrado el paradigma, son especialmente reveladores de la naturaleza de las cosas. Al utilizarlos en

la resolución de problemas, el paradigma ha hecho que merezca la pena determinarlos no sólo con mayor precisión, sino también en una mayor variedad de situaciones. En una época u otra, estas determinaciones fácticas significativas han incluido, en astronomía, la posición y magnitud estelar, los periodos de eclipses de las binarias y de los planetas; en física, los pesos específicos y la compresibilidad de los materiales, las longitudes de onda y las intensidades espectrales, las conductividades eléctricas y los potenciales de contacto; y en química, la composición y los pesos de combinación, los puntos de ebullición y la acidez de las soluciones, las fórmulas estructurales y la actividad óptica. Los intentos de aumentar la precisión y amplitud con que se conocen los hechos de este jaez ocupa una fracción significativa de la bibliografía de la ciencia experimental y observacional. Una y otra vez se han diseñado para tales propósitos aparatos especiales complejos, y la invención, construcción y despliegue de tales aparatos han exigido talentos de primera línea, abundante tiempo y considerable apoyo financiero. Los sincrotrones y los radiotelescopios no son sino los más recientes ejemplos de hasta qué extremo son capaces de ir los que trabajan en la investigación si hay un paradigma que les asegure que los hechos que buscan son importantes. De Tycho Brahe a E. O. Lawrence, algunos científicos han alcanzado gran reputación no por la novedad de sus descubrimientos, sino por la precisión, confiabilidad y amplitud de los métodos que han desarrollado para determinar de nuevo un tipo de hecho previamente conocido.

Una segunda clase, aunque mucho menor, de determinaciones fácticas se orienta a aquellos hechos que, aunque a menudo carezcan en sí mismo de mucho interés, con todo se pueden comparar directamente con predicciones extraídas de la teoría paradigmática. Como veremos en seguida, cuando pase de los problemas experimentales a los teóricos de la ciencia normal, no suele haber muchas áreas en las que una teoría científica pueda compararse directamente con la naturaleza, especialmente si está formulada de manera predominantemente matemática. Sólo tres áreas de este tipo son aún accesibles a la teoría general de la relatividad de Einstein.[2] Además, incluso en esas áreas en que es posible la aplicación, ésta exige a menudo aproximaciones teóricas y experimentales que limitan gravemente el acuerdo esperable. La mejora de dicho acuerdo o el hallazgo de áreas nuevas en que se pueda demostrar el acuerdo representan un reto constante a la habilidad y la imaginación del experimentador y del observador. Los telescopios especiales para

[2] El único punto de contacto tradicional que aún se acepta de manera general es la precesión del perihelio de Mercurio. El desplazamiento hacia el rojo en el espectro luminoso de las estrellas distantes se puede derivar de consideraciones más elementales que la relatividad general, y lo mismo puede decirse de la curvatura de la luz en torno al Sol, una cuestión hoy en día un tanto debatida. En cualquier caso las mediciones de este último fenómeno siguen siendo equívocas. Muy recientemente puede haberse añadido un punto de contacto adicional: el desplazamiento gravitatorio de la radiación de Mossbauer. Tal vez haya pronto otros en este campo ahora activo tras un largo periodo de letargo. Para una exposición del problema puesta al día aunque breve, véase L. I. Schiff, "A Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity", *Physics Today*, XIV (1961), 42-48.

demostrar la predicción copernicana de la paralaje anual; la máquina de Atwood inventada inicialmente casi un siglo después de los *Principios* para ofrecer la primera demostración inequívoca de la segunda ley de Newton; el aparato de Foucault para demostrar que la velocidad de la luz es mayor en el aire que en el agua, o el gigantesco contador de centelleo designado para demostrar la existencia del neutrino, todos estos equipos experimentales especiales y muchos otros similares ponen de manifiesto el enorme esfuerzo e ingenio que ha exigido la producción de un acuerdo cada vez más estrecho entre la naturaleza y la teoría.[3] Este intento de demostrar el acuerdo representa un segundo tipo de trabajo experimental normal y depende de un paradigma de manera más obvia que el primer tipo. La existencia del paradigma plantea el problema a resolver, y a menudo la teoría del paradigma está directamente implicada en el diseño del aparato capaz de resolver el problema. Sin los *Principios*, por ejemplo, las mediciones hechas con la máquina de Atwood no habrían significado nada en absoluto.

[3] Para dos de los telescopios paralácticos véase Abraham Wolf, *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century* (2ª ed., Londres, 1952), pp. 103-105. Para la máquina de Atwood véase N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), pp. 100-102, 207-208 [traducción española, *Patrones de descubrimiento*, Madrid, Alianza, 1977, pp. 205-208]. Para los dos últimos equipos experimentales especiales, véase M. L. Foucault, "Méthode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparents. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau...", *Comptes rendus... de l'Académie des sciences*, XXX (1850), pp. 551-560; y C. L. Cowan Jr. *et al.*, "Detection of the Free Neutrino: A Confirmation", *Science*, CXXIV (1956), pp. 103-104.

Creo que un tercer tipo de experimentos y observaciones agotan las actividades de acopio de hechos de la ciencia normal. Consta del trabajo empírico emprendido para articular la teoría paradigmática, resolviendo algunas de sus ambigüedades residuales y permitiendo la resolución de problemas sobre los que anteriormente se había limitado a llamar la atención. Esta clase resulta ser la más importante de todas, y su descripción exige que la subdividamos. En las ciencias más matemáticas, algunos de los experimentos orientados a la articulación se dirigen a determinar constantes físicas. La obra de Newton, por ejemplo, indicaba que la fuerza entre dos masas unidad a la distancia unidad habría de ser la misma para todos los tipos de materia en todas las posiciones del universo. Pero los problemas que él se planteaba se podían resolver sin estimar siquiera la magnitud de esta atracción, la constante de la gravitación universal; y durante el siglo posterior a la aparición de los *Principios*, nadie ideó ningún aparato que fuera capaz de determinarla. La famosa determinación de Cavendish en la década de 1790 tampoco fue la última. Debido a su posición central en la teoría física, gran cantidad de experimentalistas sobresalientes se han planteado como objetivo mejorar los valores de la constante gravitatoria con redoblados esfuerzos.[4] Otros ejemplos del mismo tipo de trabajo continuado incluirían las determinaciones de la unidad astronómica, del número de Avogadro, del coeficiente de Joule, de la carga del electrón, etc. Pocos de estos esfuerzos complejos se habrían concebido, y ninguno de ellos se habría llevado a cabo sin una teoría paradigmática que definiera el problema y garantizara la existencia de una solución estable.

[4] J. H. P[oynting] revisa unas dos docenas de mediciones de la constante gravitatoria entre 1741 y 1901 en "Gravitation Constant and Mean Density of the Earth", *Encyclopaedia Britannica* (11ª ed., Cambridge, 1910-1911), XII, pp. 385-389.

Sin embargo, los esfuerzos destinados a articular un paradigma no se restringen a la determinación de constantes universales, sino que, por ejemplo, se pueden orientar a la obtención de leyes cuantitativas. Se encuentran en esta categoría la ley de Boyle, que relaciona la presión con el volumen de un gas; la ley de Coulomb de la atracción eléctrica, y la fórmula de Joule que relaciona el calor generado con la resistencia eléctrica y la corriente. Quizá no sea obvio que se precise un paradigma para descubrir leyes de este tipo. A menudo oímos que se descubrieron al examinar las mediciones tomadas por ellas mismas, sin ningún compromiso teórico; pero la historia no ofrece apoyo alguno a un método tan excesivamente baconiano. Los experimentos de Boyle no eran concebibles (y de ser concebidos hubieran recibido otra interpretación, de recibir alguna) hasta que se interpretó el aire como un fluido elástico al que se podrían aplicar todos los conceptos elaborados en la hidrostática.[5] El éxito de Coulomb

[5] Para el pleno transplante a la neumática de los conceptos de la hidrostática, véanse *The Physical Treatises of Pascal*, traducción I. H. B. Spiers y A. G. H. Spiers con introducción y notas de F. Barry (Nueva York, 1937). [Véase la traducción española de los tratados sobre el vacío en B. Pascal, *Obras*, Madrid, Alfaguara, 1961, pp. 722-787, y en B. Pascal, *Tratados de pneumática*, Madrid, Alianza, 1984.] La introducción original de Toricelli del símil "vivimos sumergidos en el fondo de un

dependió de la construcción de aparatos especiales para medir la fuerza entre cargas puntuales. (Quienes habían medido anteriormente las fuerzas eléctricas utilizando balanzas de platillos ordinarias, etc., no habían hallado en absoluto ninguna regularidad consistente o simple.) Mas ese diseño dependía a su vez del reconocimiento previo de que cada partícula del fluido eléctrico actúa a distancia sobre todas las demás. Coulomb estaba buscando la fuerza entre tales partículas, la única fuerza que se podría suponer con seguridad que era una función simple de la distancia.[6] Los experimentos de Joule podrían utilizarse también para ilustrar cómo surgen las leyes cuantitativas a través de la articulación de los paradigmas. De hecho, la relación entre un paradigma cualitativo y la ley cuantitativa es tan estrecha y general que, desde Galileo, tales leyes se han conjeturado a menudo de modo correcto con la ayuda de un paradigma años antes de que se pudiera diseñar un aparato para su determinación experimental.[7]

Finalmente, hay un tercer tipo de experimentos que se orienta a articular el paradigma. Se parece más que los otros a la exploración y domina en especial en aquellos periodos y ciencias que se

océano de aire elemental" se da en la página 164. Su rápido desarrollo se muestra en los dos tratados principales.

[6] Roller y Roller, *The Development*, pp. 66-80.

[7] Para ejemplos, véase T. S. Khun "The Function of Measurement in Modern Physical Science", *Isis*, LII (1961), pp. 161-193 [puede verse ahora como capítulo 8, pp. 178-224 de T. S. Khun, *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, 1977; hay traducción española, *La tensión esencial*, México, FCE, 1981, y reediciones posteriores].

ocupan más de los aspectos cualitativos de la regularidad de la naturaleza que de los cuantitativos. Es frecuente que un paradigma desarrollado para un conjunto de fenómenos resulte ambiguo cuando se aplica a otros estrechamente relacionados con ellos. Se precisan entonces experimentos para elegir una de las maneras alternativas de emplear el paradigma en la nueva área de interés. Por ejemplo, las aplicaciones paradigmáticas de la teoría calórica versaban sobre el calentamiento y el enfriamiento por mezclas y por cambio de estado. Sin embargo el calor se podía ceder o absorber de muchas otras maneras, como por ejemplo por combinación química, por fricción y por compresión o absorción de un gas, y a cada uno de estos otros fenómenos la teoría podía aplicarse de diversos modos. Si el vacío tenía una capacidad de calor, por ejemplo, el calentamiento por compresión podría explicarse como el resultado de mezclar gas con vacío. O tal vez podría deberse a un cambio en el calor específico de los gases con el cambio de presión, y había además otras diversas explicaciones. Se emprendieron muchos experimentos para elaborar estas diversas posibilidades y distinguirlas unas de otras. Todos estos experimentos surgieron de la teoría calórica como paradigma y todos la explotaron para el diseño experimental y la interpretación de resultados.[8] Una vez que se hubo establecido el fenómeno del calentamiento por compresión, todos los experimentos ulteriores en el área dependieron así del paradigma. Dado el fenómeno, ¿de qué otra ma-

[8] T. S. Khun "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, XLIX (1958), pp. 132-140.

nera podría haberse elegido un experimento para elucidarlo?

Pasemos ahora a los problemas teóricos de la ciencia normal que caen casi en las mismas clases que los experimentales y los observacionales. Por pequeña que sea, una parte del trabajo teórico normal consiste sencillamente en utilizar la teoría existente para predecir información fáctica de valor intrínseco. La composición de efemérides astronómicas, el cómputo de las características de las lentes y la producción de curvas de propagación de radio constituyen ejemplos de problemas de esta clase. Con todo, en general los científicos los consideran como un trabajo deslucido que se ha de relegar a los ingenieros o a los técnicos. La mayor parte de ellos nunca aparecen en revistas científicas importantes. Sin embargo, estas revistas contienen muchísimas discusiones teóricas de problemas que al no científico han de parecerle casi idénticas. Se trata de las manipulaciones de la teoría que se emprenden no porque las predicciones a que dan lugar sean intrínsecamente valiosas, sino porque se pueden confrontar directamente con los experimentos. Su finalidad es mostrar una nueva aplicación del paradigma o aumentar la precisión de una aplicación que ya ha sido hecha.

La necesidad de este tipo de trabajo surge de las inmensas dificultades que a menudo se encuentran al establecer puntos de contacto entre una teoría y la naturaleza. Dichas dificultades se pueden ejemplificar brevemente mediante un examen de la historia de la dinámica después de Newton. A comienzos del siglo XVIII, aquellos científicos que hallaron un paradigma en los *Principios* dieron por supuesta la generalidad de sus conclusiones, pues tenían todas las razones para hacerlo. No hay otra obra conocida en toda la historia de la ciencia que haya permitido simultáneamente un aumento tan considerable en la amplitud y la precisión de la investigación. En el caso de los cielos, Newton había derivado las leyes de Kepler del movimiento planetario, a la vez que había explicado algunos aspectos observados en los que la Luna dejaba de obedecerlas. Por lo que respecta a la Tierra, había derivado los resultados de algunas observaciones dispersas sobre péndulos y sobre mareas. Con la ayuda de suposiciones adicionales aunque *ad hoc,* también fue capaz de derivar la ley de Boyle y una fórmula importante para la velocidad del sonido en el aire. Dado el estado de la ciencia en aquel momento, el éxito de estas demostraciones fue tremendamente impresionante. Sin embargo, dada la presunta generalidad de las leyes de Newton, el número de estas aplicaciones no era grande y Newton prácticamente no desarrolló otras nuevas. Además, comparado con lo que cualquier licenciado en física puede conseguir hoy en día con esas mismas leyes, las pocas aplicaciones de Newton ni siquiera se desarrollaron con precisión. Finalmente, los *Principios* se idearon principalmente para su aplicación a problemas de mecánica celeste, sin que fuese en absoluto claro cómo podrían adaptarse a aplicaciones terrestres, especialmente a las que incluían movimientos bajo resistencia. En cualquier caso, los problemas terrestres ya habían sido abordados con gran éxito por todo un conjunto de técnicas distintas desarrolladas originalmente por Galileo y

Huygens y expandidas en el continente durante el siglo XVIII con los Bernoulli, D'Alembert y muchos otros. Presumiblemente se podría mostrar que sus técnicas y las de los *Principios* eran casos particulares de una formulación más general, aunque durante algún tiempo nadie vio muy bien cuál podría ser.[9]

Restrinjamos la atención por un momento al problema de la precisión. Ya hemos ejemplificado su aspecto empírico. Se necesitaba un equipo especial, como el aparato de Cavendish, la máquina de Atwood o los telescopios mejorados, a fin de suminstrar los datos especiales exigidos por las aplicaciones concretas del paradigma newtoniano. Por el lado de la teoría existían dificultades similares para obtener un acuerdo. Por ejemplo, al aplicar sus leyes a los péndulos, Newton se vio obligado a tratar la lenteja del péndulo como una masa puntual a fin de obtener una definición única de la longitud del péndulo. La mayoría de sus teoremas ignoraban también el efecto de la resistencia del aire, y las únicas excepciones eran

[9] C. Truesdell, "A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason", *Archive for History of the Exact Sciences*, I (1960), pp. 3-36, y "Reactions of Late Barroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's *Principia*", *Texas Quarterly*, X (1967), pp. 281-297 [véanse los capítulos II y III de C. Truesdell, *Essays in the History of Mechanics*, Nueva York, Springer, 1968, traducido al español como *Ensayos de historia de la mecánica*, Madrid, Tecnos, 1975: "Programa para el redescubrimiento de la mecánica racional de la Ilustración", pp. 89-132, y "Reacciones de la mecánica del barroco a los éxitos, conjeturas, errores y fracasos contenidos en el *(sic) Principia*", pp. 134-174]. T. L. Hankins, "The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century", *Archives internationales d'histoire des Sciences*, XX (1967), pp. 42-65.

hipotéticas y preliminares. Se trataba de aproximaciones físicas razonables, aunque en cuanto aproximaciones restringían el acuerdo esperable entre las predicciones newtonianas y los experimentos reales. Las mismas dificultades aparecen con mayor claridad aún en la aplicación de la teoría de Newton a los cielos. Algunas observaciones telescópicas simples y cuantitativas indican que los planetas no obedecen del todo las leyes de Kepler, y la teoría newtoniana indica que no deberían hacerlo. Para derivar dichas leyes, Newton se había visto obligado a despreciar toda atracción gravitatoria excepto la que se da entre cada planeta individual y el Sol. Puesto que los planetas también se atraen mutuamente, sólo es de esperarse un acuerdo aproximado entre la teoría aplicada y la observación telescópica.[10]

El acuerdo conseguido resultó obviamente más que satisfactorio para quienes lo lograron. Exceptuando algunos problemas terrestres, ninguna otra teoría lo había hecho ni de lejos tan bien. Ninguno de quienes cuestionaban la validez de la obra de Newton lo hacía por su escaso acuerdo con los experimentos y las observaciones. Con todo, estas limitaciones en el acuerdo legaron muchos problemas teóricamente fascinantes a los sucesores de Newton. Se necesitaban por ejemplo técnicas teóricas para abordar el problema de los movimientos de más de dos cuerpos atrayéndose a la vez, así como para estudiar la estabilidad de las órbitas perturbadas. Los problemas de este jaez ocuparon a muchos de los mejores ma-

[10] Wolf, *A History of Science*, pp. 75-81, 96-101; y William Whewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev., Londres, 1847), II, pp. 213-271.

temáticos europeos durante el siglo xviii y comienzos del xix. Euler, Lagrange, Laplace y Gauss, todos ellos realizaron sus trabajos más brillantes en problemas orientados a mejorar el acuerdo entre el paradigma newtoniano y la observación de los cielos. Muchas de estas figuran trabajaban a la vez en el desarrollo de las matemáticas precisas para aplicaciones que ni Newton ni la escuela continental contemporánea de mecánica habían nunca ensayado. Produjeron, por ejemplo, una inmensa bibliografía y algunas técnicas matemáticas poderosísimas para la hidrodinámica y para el problema de las cuerdas vibrantes. Estos problemas de aplicación dan cuenta de lo que probablemente sea el trabajo más brillante y agotador del siglo xviii. Podrían encontrarse otros ejemplos examinando el periodo posparadigmático del desarrollo de la termodinámica, de la teoría ondulatoria de la luz, de la teoría electromagnética o de cualquier otra rama de la ciencia cuyas leyes fundamentales sean plenamente cuantitativas. Al menos en las ciencias más matemáticas, la mayor parte del trabajo teórico es de este tipo.

Pero no todo tiene este mismo carácter. Incluso en las ciencias matemáticas hay también problemas teóricos de articulación paradigmática; y estos problemas dominan en los periodos en que el desarrollo científico es principalmente cuantitativo. Algunos de los problemas, tanto de las ciencias más cuantitativas como de las más cualitativas, se orientan simplemente a la clarificación por reformulación. Por ejemplo, los *Principios* no siempre fueron una obra fácil de aplicar, en parte porque hasta cierto punto mantenían cierto desaliño inevitable en una primera aproximación, y en

parte porque en gran medida su significado sólo estaba implícito en sus aplicaciones. En cualquier caso, para las aplicaciones terrestres había un conjunto aparentemente independiente de técnicas continentales que se antojaban mucho más poderosas. Por tanto, desde Euler y Lagrange en el siglo xviii a Hamilton, Jacobi y Hertz en el siglo xix, muchos de los más brillantes físicos matemáticos europeos trataron repetidamente de reformular la teoría mecánica de una forma equivalente aunque lógica y estéticamente más satisfactoria. Esto es, querían mostrar las lecciones explícitas e implícitas de los *Principios* y de la mecánica continental en una versión lógicamente más coherente que resultara a la vez más uniforme y menos equívoca en su aplicación a los problemas recientemente planteados de la mecánica.[11]

En todas las ciencias han tenido lugar repetidamente reformulaciones semejantes de un paradigma, pero en su mayoría han producido en el paradigma cambios más sustanciales que las reformulaciones de los *Principios* antes citadas. Tales cambios derivan del trabajo empírico que antes describíamos como orientado a la articulación del paradigma. Ciertamente, clasificar este tipo de trabajo como empírico era algo arbitrario. En mayor medida que cualquier otro tipo de investigación normal, los problemas de la articulación del paradigma son a la vez teóricos y empíricos; los ejemplos ya puestos se aplicarían aquí perfectamente. Antes de que Coulomb pudiera construir su equipo y hacer con él mediciones,

[11] René Dugas, *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), Libros IV-V.

tenía que emplear la teoría eléctrica para determinar cómo construirlo. La consecuencia de sus mediciones fue un refinamiento de dicha teoría. O, una vez más, quienes diseñaron los experimentos que habían de distinguir las diversas teorías del calentamiento por compresión, eran generalmente las mismas personas que habían inventado las versiones que había que comparar. Trabajaban a la vez con los hechos y con la teoría, y su trabajo producía no sólo nueva información sino un paradigma más preciso, obtenido por la eliminación de las ambigüedades que aún conservaba la forma original con la que comenzaron a trabajar. En muchas ciencias, la mayoría del trabajo normal es de este tipo.

Creo que estas tres clases de problemas: la determinación de los hechos significativos, el encaje de los hechos con la teoría y la articulación de la teoría, agotan la producción bibliográfica de la ciencia normal, tanto empírica como teórica, pero no agotan completamente, como es obvio, toda la bibliografía científica. Hay también problemas extraordinarios, y bien pudiera ser que su resolución hiciera que la empresa científica en su conjunto fuese especialmente valiosa. Pero los problemas extraordinarios no aparecen cuando uno quiere, pues sólo surgen en ocasiones especiales dispuestas por el progreso de la investigación normal. Por consiguiente, y de manera inevitable, la inmensa mayoría de los problemas abordados incluso por los mejores científicos, cae usualmente en una de las tres categorías bosquejadas más arriba. No se puede llevar a cabo de otra manera el trabajo siguiendo un paradigma, y abandonar el paradigma es dejar de practicar la ciencia que define. Enseguida descubriremos que tales deserciones se producen, siendo los goznes sobre los que giran las revoluciones científicas. Pero antes de comenzar el estudio de tales revoluciones, precisamos una visión más panorámica de las preocupaciones de la ciencia normal que les preparan el camino.

IV. LA CIENCIA NORMAL COMO SOLUCIÓN DE ROMPECABEZAS

TAL VEZ el rasgo más sorprendente de los problemas de la investigación normal con los que nos hemos topado hasta ahora sea en cuán escasa medida pretenden producir novedades importantes, sean conceptuales o fenoménicas. En ocasiones, como en la medición de una longitud de onda, se conoce todo por adelantado excepto el detalle más esotérico del resultado, y el margen típico de lo que se espera es sólo ligeramente más amplio. Quizá las mediciones de Coulomb no tenían que haber encajado en una ley inversa del cuadrado; las personas que trabajaban en el calentamiento por compresión esperaban a menudo uno u otro de un conjunto de diferentes resultados; sin embargo, incluso en casos como éstos, la variación de los resultados previstos y por tanto asimilables resulta siempre pequeña comparada con la variación concebible en la imaginación. Además, el proyecto cuyo resultado no cae en este estrecho margen, normalmente no es más que una falla de investigación que refleja no cómo es la naturaleza sino cómo es el científico.

En el siglo XVIII, por ejemplo, se prestaba escasa atención a los experimentos que medían la atracción eléctrica con instrumentos como la balanza de platillos. Dado que no ofrecían resultados consistentes ni simples, no podían utilizarse para articular el paradigma del que provenían.

Por consiguiente se limitaban a ser *meros* hechos inconexos e imposibles de relacionar con el progreso continuado de la investigación eléctrica. Tan sólo desde un punto de vista retrospectivo podemos ver, al disponer de un paradigma subsiguiente, qué características revelan de los fenómenos eléctricos. Por supuesto, Coulomb y sus contemporáneos también disponían de este último paradigma o de otro que, al aplicarse al problema de la atracción, producía las mismas expectativas. Por este motivo, Coulomb fue capaz de diseñar un aparato que dio un resultado asimilable por la articulación del paradigma. Pero ésa es asimismo la razón por la cual dicho resultado no sorprendió a nadie y por la cual varios contemporáneos de Coulomb habían sido capaces de predecirlo por adelantado. Incluso el proyecto que tiene como fin la articulación del paradigma no busca novedades *inesperadas*.

Pero si el objetivo de la ciencia normal no son las novedades sustantivas importantes, si el fracaso a la hora de alcanzar un resultado anticipado es normalmente el fracaso del científico, entonces ¿por qué se abordan tales problemas? La respuesta ya se ha desarrollado en parte. Para los científicos al menos, los resultados obtenidos en la investigación normal son significativos porque aumentan la amplitud y la precisión con que se puede aplicar el paradigma. No obstante, tal respuesta no puede explicar el entusiasmo y la devoción que muestran los científicos por los problemas de la investigación normal. Nadie dedica años al desarrollo, digamos, de un mejor espectrómetro o a la producción de una solución mejorada al problema de las cuerdas vibrantes tan

sólo por la importancia de la información que se habrá de obtener. Los datos que se consiguen computando efemérides o mediante ulteriores mediciones con un instrumento ya existente son a menudo igualmente significativos, pero tales actividades resultan despreciadas regularmente por los científicos debido a que son en gran medida repeticiones de procedimientos que han sido plenamente aplicados anteriormente. Este rechazo da una pista sobre la fascinación que ejercen los problemas de investigación normal. Aunque su resultado se pueda anticipar, a menudo con un detalle tan grande que lo que queda por averiguar carece en sí mismo de interés, el modo de lograr dicho resultado en gran medida carece de interés. Resolver un problema de investigación normal es lograr lo previsto de un modo nuevo, lo que exige la solución de todo tipo de rompecabezas complejos tanto instrumentales como conceptuales y matemáticos. La persona que conoce el éxito demuestra ser un experto en resolver rompecabezas, y el reto del rompecabezas es una parte importante de lo que normalmente lo motiva.

Las expresiones *rompecabezas* y *experto en resolver rompecabezas* iluminan algunos de los temas que han ido pasando a primer plano en las páginas precedentes. Según el significado completamente normal utilizado aquí, los rompecabezas constituyen esa categoría especial de problemas que pueden servir para poner a prueba el ingenio y la habilidad en dar con la solución. Los ejemplos típicos son los *puzzles* y los crucigramas, y lo que queremos ahora señalar es el conjunto de características que éstos comparten con los problemas de la ciencia normal. Acabamos de

mencionar una de ellas. Que el resultado de un rompecabezas sea intrínsecamente importante o interesante no es en absoluto un criterio de su bondad. Por el contrario, los problemas realmente urgentes, como por ejemplo la cura del cáncer o el establecimiento de una paz duradera, no son a menudo rompecabezas de ningún modo, en gran medida porque puede ser que no tengan una solución. Considérese un *puzzle* cuyas piezas se han tomado aleatoriamente de dos cajas distintas. Puesto que lo más probable es que el problema se resista (aunque podría no ser así) incluso a la más ingeniosa de las personas, no vale como prueba de la habilidad en la solución. En cualquier sentido usual no se trata en absoluto de un rompecabezas. Aunque el valor intrínseco no es un criterio para juzgar un rompecabezas, sí lo es que exista con seguridad una solución.

Sin embargo, ya hemos visto que una de las cosas que adquiere una comunidad científica junto con un paradigma es un criterio para elegir problemas, la existencia de cuyas soluciones se puede dar por supuesta en tanto en cuanto el paradigma resulte aceptable. En gran medida son ésos los únicos problemas que la comunidad admitirá como científicos, animando a sus miembros a abordarlos. Otros problemas, incluyendo muchos que anteriormente habían sido normales, se rechazan ahora como metafísicos, como asunto de otra disciplina o incluso a veces como demasiado problemáticos para que merezca la pena perder el tiempo con ellos. Llegado el caso, un paradigma puede incluso aislar a la comunidad de aquellos problemas socialmente importantes que no son reductibles a la forma de rompecabezas, de-

bido a que no se pueden plantear en términos de las herramientas conceptuales e instrumentales que suministra el paradigma. Tales problemas pueden constituir motivo de distracción, una lección brillantemente ilustrada por diversos aspectos del baconianismo del siglo XVII y por algunas de las ciencias sociales contemporáneas. Una de las razones por las que progresa tan rápidamente la ciencia normal es porque quienes la practican se concentran en problemas que sólo su falta de ingenio les impediría resolver.

No obstante, si los problemas de la ciencia normal constituyen rompecabezas en este sentido, no es preciso que nos preguntemos por qué los científicos los abordan con tal pasión y devoción. Una persona se puede sentir atraída hacia la ciencia por todo tipo de razones, entre ellas el deseo de ser útil, la emoción de explorar un territorio nuevo, la esperanza de encontrar orden y el impulso de poner a prueba el conocimiento establecido. Estos y otros motivos contribuyen también a determinar los problemas concretos que más tarde lo absorberán. Además, aunque el resultado sea a veces la frustración, existen buenas razones para que estos motivos lo atraigan inicialmente y luego lo guíen.[1] La empresa científica en su conjunto resulta útil de vez en cuando, abre territorios nuevos, introduce orden y pone a prueba creencias largo tiempo aceptadas. No obstante, el

[1] No obstante, las frustraciones producidas por el conflicto entre la función individual y el patrón general del desarrollo científico pueden ser en ocasiones muy serias. Sobre este asunto véase Lawrence S. Kubie, "Some Unsolved Problems of the Scientific Career", *American Scientist*, XLI (1953), pp. 596-613; y XLII (1954), pp. 104-112.

individuo implicado en un problema de investigación normal *casi nunca hace alguna de estas cosas*. Una vez enzarzado en uno de sus problemas, su motivación es de un tipo más bien distinto. Lo que representa para él un reto es la convicción de que, si es lo bastante habilidoso, podrá resolver un rompecabezas que ninguna otra persona ha resuelto antes o no lo ha resuelto tan bien. Muchas de las mejores mentes científicas han dedicado toda su atención profesional a exigentes rompecabezas de ese tipo. En la mayoría de los casos, un campo de especialización dado no ofrece otra tarea, lo cual no lo hace menos fascinante para el tipo adecuado de adicto.

Pasemos ahora a otro aspecto más difícil y más revelador del paralelismo que hay entre los rompecabezas y los problemas de la ciencia normal. Para contar como rompecabezas, un problema ha de caracterizarse por más de una solución segura. Tienen que existir también reglas que limiten la naturaleza de las soluciones aceptables y de los pasos mediante los que han de obtenerse. Resolver un *puzzle*, por ejemplo, no es sencillamente "hacer un cuadro". Un niño o un artista contemporáneo podría hacer tal cosa dispersando algunas piezas escogidas como formas abstractas sobre algún fondo neutro. El cuadro así producido podría ser muchísimo mejor, y sin duda sería más original, que aquel a partir del cual se ha confeccionado el *puzzle*. No obstante, semejante cuadro no constituiría una solución. Para lograrla hay que utilizar todas las piezas, las caras planas tienen que estar hacia abajo y deben encajar sin forzarse hasta que no quede ningún hueco. Ésas son algunas de las reglas que gobiernan la

solución de los *puzzles*. Se pueden descubrir fácilmente restricciones similares en las soluciones admisibles de los crucigramas, los jeroglíficos, los problemas de ajedrez, etcétera.

Si aceptáramos una considerable ampliación del uso del término *regla*, de modo que viniera a equivaler a "punto de vista establecido" o "preconcepción", entonces los problemas accesibles en una tradición de investigación dada muestran algo muy parecido a este conjunto de características de los rompecabezas. La persona que construye un instrumento para determinar las longitudes de onda ópticas no ha de darse por satisfecho con un equipo que se limite a atribuir números concretos a líneas espectrales particulares. No se limita a ser un explorador o un medidor. Por el contrario, al analizar su aparato en términos del cuerpo establecido de teoría óptica, ha de mostrar que los números producidos por su instrumento son los que encajan en la teoría como longitudes de onda. Si alguna vaguedad residual en la teoría o algún componente no analizado de su aparato le impide completar su demostración, sus colegas pueden concluir perfectamente que no ha medido nada en absoluto. Por ejemplo, los máximos de dispersión electrónica que más tarde se identificaron como índices de la longitud de onda del electrón, carecían aparentemente de significado la primera vez que se observaron y se registraron. Antes de convertirse en mediciones de algo, tuvieron que entrar en relación con una teoría que predecía la conducta ondulatoria de la materia en movimiento. E incluso una vez que se hubo señalado semejante relación, el aparato hubo de ser diseñado de nuevo, a fin de que los resultados experimentales se pudieran correlacionar de manera inequívoca con la teoría.[2] Hasta que esas condiciones se hubieron satisfecho, no se había resuelto ningún problema.

Las soluciones admisibles a los problemas teóricos se ven limitadas por tipos similares de restricciones. A lo largo del siglo XVIII los científicos que trataron de derivar los movimientos observados de la Luna a partir de las leyes del movimiento de Newton y de la gravitación, fracasaron irremisiblemente. Como resultado de ello, algunos llegaron a sugerir la sustitución de la ley del inverso del cuadrado por una ley que se desviaba de ella a distancias pequeñas. No obstante, para conseguirlo habrían de cambiar el paradigma, tendrían que definir un nuevo rompecabezas y no resolver el viejo. En cualquier caso, los científicos mantuvieron las reglas hasta que en 1750 uno de ellos descubrió cómo aplicarlas con éxito.[3] Solamente un cambio en las reglas del juego habría ofrecido una alternativa.

El estudio de las predicciones de la ciencia normal descubre diversas reglas adicionales que ofrecen mucha información acerca de los compromisos que los científicos derivan de sus paradigmas. ¿Cuáles podemos decir que son las categorías principales en las que caen dichas reglas?[4] La más obvia y tal vez la más vinculante se ejemplifica

[2] Para un breve pormenor de la evolución de estos experimentos, véase la página 4 de la conferencia de C. J. Davisson en *Les prix Nobel en 1937* (Estocolmo, 1938).

[3] W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev., Londres, 1847), II, pp. 101-105, 220-222.

[4] Debo esta pregunta a W. O. Hagstrom, cuyo trabajo en el campo de la sociología de la ciencia coincide a veces con el mío.

merced a los tipos de generalizaciones que acabamos de apuntar. Son enunciados explícitos de leyes científicas y versan sobre conceptos y teorías científicas. En tanto cuanto sigan siendo respetables, dichos enunciados contribuyen a plantear rompecabezas y a limitar las soluciones aceptables. Las leyes de Newton, por ejemplo, desempeñaron esas funciones durante los siglos XVIII y XIX, y en la medida en que lo hicieron, la cantidad de materia fue una categoría ontológica fundamental para los físicos, y las fuerzas que actúan entre trozos de materia constituyeron un tema dominante de investigación.[5] En química, las leyes de las proporciones fijas y definidas poseyeron durante mucho tiempo una fuerza exactamente similar, planteando los problemas del peso atómico, limitando los resultados admisibles del análisis químico e informando a los químicos de qué eran los átomos y las moléculas, los compuestos y las mezclas.[6] Las ecuaciones de Maxwell y las leyes de la termodinámica estadística tienen hoy en día el mismo dominio y función.

Con todo, las reglas de este tipo no constituyen ni la única variedad ni siquiera la más interesante de las que pone de manifiesto el estudio de la historia. En un nivel inferior o más concreto que el de las leyes y teorías, existe por ejemplo una multitud de compromisos sobre la preferencia de tipos de instrumentación y sobre los modos en que se pueden utilizar legítimamente los instrumentos aceptados. El cambio en actitud hacia la función del fuego en el análisis químico desempeñó una parte vital en el desarrollo de la química en el siglo XVII.[7] Helmholtz se topó en el XIX con una gran resistencia por parte de los fisiólogos a la idea de que la experimentación física pudiera iluminar su campo.[8] Y en este siglo [el XX] la curiosa historia de la cromatografía química ilustra una vez más la persistencia de los compromisos instrumentales que ofrecen a los científicos reglas del juego del mismo modo que lo hacen las leyes y las teorías.[9] Cuando analicemos el descubrimiento de los rayos X hallaremos razones para compromisos de este tipo.

Menos locales y temporales, aunque no por ello lleguen a ser aún características inmutables de la ciencia, son los compromisos de alto nivel, cuasimetafísicos, que tan a menudo exhiben los estudios históricos. A partir aproximadamente de 1630, por ejemplo, y en especial después de la aparición de los escritos científicos enormemente influyentes de Descartes, la mayor parte de los científicos físicos suponían que el universo estaba compuesto de corpúsculos microscópicos y que todos los fenómenos naturales podrían explicarse en términos del tamaño, forma, movimiento e interacción corpuscular. Este núcleo de compromi-

[5] Para estos aspectos de newtonianismo véase I. B. Cohen, *Franklin and Newton*, cap. VII, esp. pp. 255-257, 275-277.

[6] Este ejemplo se examina ampliamente hacia el final del capítulo X.

[7] H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e siècle à la fin du XVIII^e siècle* (París, 1923), pp. 359-361; Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), pp. 112-115.

[8] Leo Königsberger, *Hermann von Helmholtz*, trad. Francis A. Welby (Oxford, 1906), pp. 65 y 66.

[9] James E. Meinhard, "Chromatography: A Perspective", *Science*, CX (1949), pp. 387-392.

sos resultó ser a la vez metafísico y metodológico. En cuanto metafísico, decía a los científicos qué tipo de entidades contenía el universo y cuáles no: sólo había materia con forma y movimiento. En cuanto metodológico, les decía qué aspecto deberían ofrecer las leyes últimas y las explicaciones fundamentales: las leyes habían de especificar el movimiento y la interacción de los corpúsculos, mientras que las explicaciones deberían reducir cualquier fenómeno natural dado a la acción corpuscular regida por estas leyes. Y lo que es aún más importante, la concepción corpuscular del universo les decía a los científicos cuáles habrían de ser muchos de sus problemas de investigación. Por ejemplo, el químico que, como Boyle, adoptara la nueva filosofía, prestaría particular atención a las reacciones que pudieran verse como trasmutaciones. Éstas mostraban con más claridad que ninguna otra los procesos de reorganización corpuscular que han de subyacer a todo cambio químico.[10] Se pueden observar efectos similares del corpuscularismo en el estudio de la mecánica, de la óptica y del calor.

Finalmente, en un nivel ligeramente superior, existe otro conjunto de compromisos sin los que nadie es un científico. Por ejemplo, el científico ha de ocuparse por comprender el mundo y por extender la precisión y la amplitud con los que se ha ordenado. Este compromiso, a su vez, lo lleva a examinar con gran detalle empírico algunos aspectos de la naturaleza sea por sí mismo o con ayuda de sus colegas. Ahora bien, si tal examen pone de relieve bolsas de aparente desorden, entonces éstas le plantean un reto para que refine sus técnicas observacionales o para que articule mejor sus teorías. No cabe duda de que aún hay otras reglas de este tipo que han sido sostenidas por los científicos en todos los tiempos.

[10] Para el corpuscularismo en general véase Marie Boas, "The Establishment of the Mechanical Philosophy", *Osiris*, X (1952), pp. 412-541. Para sus efectos sobre la química de Boyle, véase T. S. Kuhn, "Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century", *Isis*, XLIII (1952), pp. 12-36.

La existencia de esta poderosa red de compromisos conceptuales, teóricos, instrumentales y metodológicos es la fuente principal de la metáfora que relaciona la ciencia normal con la resolución de rompecabezas. Puesto que suministra reglas que dicen a quienes practican una especialidad madura cómo es el mundo y cómo es su ciencia, podrá concentrarse con tranquilidad en los problemas esotéricos que para él definen estas reglas y el conocimiento existente. El reto que se le plantea profesionalmente es cómo solucionar el rompecabezas residual. En este y en otros aspectos, la discusión de los rompecabezas y de las reglas ilumina la naturaleza de la práctica científica normal. Con todo, en otro sentido, dicha iluminación puede ser significativamente origen de confusión. Aunque como es obvio hay reglas que siguen todos los que practican una especialidad científica en un momento dado, tales reglas puede ser que no especifiquen por sí mismas todo cuanto la práctica de esos especialistas poseen en común. La ciencia normal es una actividad altamente determinada, pero no tiene por qué estar completamente determinada por reglas. Por eso, al comienzo de este ensayo introduje los paradigmas compartidos, en lugar de reglas, suposiciones y puntos de vista compartidos, como la fuente

de la coherencia de las tradiciones de investigación normal. Las reglas, según sugiero, derivan de los paradigmas, pero los paradigmas pueden guiar la investigación incluso en ausencia de reglas.

V. LA PRIORIDAD DE LOS PARADIGMAS

A FIN DE DESCUBRIR la relación entre las reglas, los paradigmas y la ciencia normal, consideremos para empezar de qué modo aísla el historiador los núcleos especiales de compromiso que acabo de describir como reglas aceptadas. Las investigaciones históricas minuciosas de una especialidad dada en un momento determinado muestran un conjunto de ilustraciones recurrentes y casi estándar de diversas teorías en sus aplicaciones conceptuales, observacionales e instrumentales. Se trata de los paradigmas de la comunidad puestos de manifiesto en los libros de texto, en las clases y en las prácticas de laboratorio. Los miembros de la comunidad correspondiente aprenden el oficio estudiándolos y practicando con ellos. Por supuesto, el historiador también descubrirá un área en penumbra ocupada por los logros cuya condición es aún dudosa, por más que normalmente esté claro cuál es el núcleo de técnicas y de problemas resueltos. Al margen de ambigüedades ocasionales, los paradigmas de una comunidad científica madura se pueden detectar con relativa facilidad.

La determinación de los paradigmas compartidos no es, con todo, la determinación de las reglas compartidas. Esto exige un segundo paso que resulta ser de un tipo ligeramente distinto. Al emprenderlo, el historiador ha de comparar los paradigmas de la comunidad entre sí y con sus

informes ordinarios de investigación. Su objetivo al hacerlo es descubrir cuáles son los elementos aislables, implícitos o explícitos, que los miembros de dicha comunidad pudieran haber *abstraído* de sus paradigmas más globales, empleándolos como reglas en su investigación. Quienquiera que haya intentado describir o analizar la evolución de una tradición científica concreta, habrá tenido que buscar necesariamente reglas y principios de este jaez. Como se indicaba en el capítulo precedente, casi con toda seguridad tendrá éxito, al menos en parte. Mas si su experiencia se parece a la mía, habrá descubierto que la búsqueda de reglas es mucho más difícil y menos satisfactoria que la búsqueda de paradigmas. Algunas de las generalizaciones que utiliza para describir las creencias compartidas de la comunidad no presentarán ningún problema. Sin embargo otras, entre las que se incluyen algunas de las utilizadas antes como ejemplo, parecerán un tanto en exceso fuertes. Expresadas en esos términos o en cualesquiera otros que se puedan imaginar, serían sin duda rechazadas casi con toda certeza por algunos miembros del grupo estudiado. No obstante, si la coherencia de la tradición de investigación se ha de entender en términos de reglas, hace falta alguna especificación de un terreno común en el área correspondiente. Como resultado de ello, la búsqueda de un cuerpo de reglas capaz de fundamentar una tradición de investigación normal se convierte en una fuente de continua y profunda frustración.

No obstante, el reconocimiento de dicha frustración hace posible el diagnóstico de su fuente. Los científicos pueden convenir en que un Newton, un Laplace, un Maxwell o un Einstein han ofrecido una solución, al parecer permanente, a un grupo de problemas sobresalientes, y aún así estar en desacuerdo, en ocasiones sin ser conscientes de ello, acerca de las características abstractas particulares que vuelven permanentes esas soluciones. Esto es, pueden estar de acuerdo en la *identificación* de un paradigma sin estar de acuerdo en una plena *interpretación* o *racionalización* suya, o incluso sin tratar de ofrecer tal cosa. La ausencia de una interpretación estándar o de una reducción aceptada a reglas no impedirá que el paradigma dirija la investigación. La ciencia normal puede determinarse en parte mediante la inspección directa de los paradigmas, proceso que a veces se ve facilitado por la formulación de reglas y suposiciones, por más que no dependa de ella. Ciertamente, la existencia de un paradigma ni siquiera necesita entrañar la existencia de un conjunto pleno de reglas.[1]

Inevitablemente, el efecto inmediato de tales enunciados es plantear problemas. En ausencia de un cuerpo competente de reglas, ¿qué es lo que liga a los científicos a una tradición particular de ciencia normal? ¿Qué sentido puede tener la expresión "inspección directa de un paradigma"? Algunas respuestas a estas preguntas fueron desarrolladas en parte por el difunto Ludwig Wittgenstein, aunque fuese en un contexto muy

[1] Michael Polanyi ha desarrollado con brillantez una idea muy similar, argumentando que gran parte del éxito del científico depende del "conocimiento tácito"; es decir, del conocimiento que se adquiere por la práctica sin que se pueda articular explícitamente. Véase su *Personal Knowledge* (Chicago, 1958), esp. caps. V y VI.

distinto. Dado que dicho contexto es a la vez más elemental y más familiar, será útil considerar primero la forma de su argumento. ¿Qué tenemos que saber, se preguntaba Wittgenstein, para poder aplicar términos como *silla*, *hoja* o *juego* de manera inequívoca sin provocar discusiones?[2]

Se trata de una pregunta muy antigua y que en general se ha respondido diciendo que hemos de conocer de manera consciente o intuitivamente qué *es* una silla o una hoja o un juego. Esto es, hemos de captar algún conjunto de atributos que todos los juegos y sólo ellos posean en común. No obstante, Wittgenstein concluía que, dado el modo en que usamos el lenguaje y el tipo de mundo al que lo aplicamos, no tiene por qué haber tal conjunto de características. Por más que la consideración de *algunos* de los atributos compartidos por un cierto *número* de juegos, sillas u hojas nos ayude a menudo a aprender cómo emplear el término correspondiente, no hay un conjunto de características que sean simultáneamente aplicables a todos los miembros de la clase y sólo a ellos. Por el contrario, enfrentados a una actividad no observada anteriormente, le aplicamos el término *juego* porque lo que estamos viendo mantiene una estrecha "semejanza de familia" con algunas de las actividades que hemos aprendido anteriormente a designar con tal nombre. Dicho brevemente, para Wittgenstein los juegos, las sillas y las hojas son familias naturales, formadas cada una de ellas por una red de semejanzas que se entrecruzan y traslapan. La existencia de tal red basta para explicar el éxito que tenemos a la hora de identificar el objeto o la actividad correspondiente. Sólo en el caso de que las familias nombradas se traslapen y fundan gradualmente unas en otras, esto es, si no fueran familias *naturales*, el éxito por nuestra parte a la hora de identificar y nombrar ofrecería pruebas de la existencia de un conjunto de características comunes correspondientes a cada uno de los nombres de clase que utilizamos.

[2] Ludwig Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, trad. G. E. M. Anscombe (Nueva York, 1953), pp. 31-36 [traducción española de A. García Suárez y U. Moulines, *Investigaciones lógicas*, Barcelona, Altaya, 1999, §§ 65-78]. Sin embargo Wittgenstein no dice prácticamente nada sobre cómo tiene que ser el mundo para soportar el procedimiento de nombrar que bosqueja. Parte de lo que sigue, por tanto, no se le puede atribuir a él.

Se puede decir algo del mismo estilo de las diversas técnicas y los problemas de investigación que surgen dentro de una única tradición de ciencia normal. Lo que éstas tienen en común no es que satisfagan algún conjunto explícito o incluso plenamente identificable de reglas y suposiciones que confieran a la tradición su carácter y su dominio sobre la mente científica. Antes bien, deben relacionarse por semejanza y por modelado con una u otra parte del corpus científico que la comunidad en cuestión ya reconoce como uno de sus logros establecidos. Los científicos trabajan a partir de modelos adquiridos a través de la educación y de la subsiguiente exposición a la bibliografía, a menudo sin conocer plenamente o sin necesidad siquiera de saber qué características han conferido a tales modelos la condición de paradigmas comunitarios. Y dado que es así, no necesitan un conjunto completo de reglas. La coherencia mostrada por la tradición de investiga-

ción en que participan puede no entrañar ni siquiera la existencia de un cuerpo subyacente de reglas y suposiciones susceptible de ser descubierto por una investigación histórica o filosófica ulterior. El hecho de que normalmente los científicos ni se pregunten ni discutan qué es lo que hace que un problema o una solución particulares sean legítimos, nos induce a suponer que conocen la respuesta, aunque sea intuitivamente. Pero podría indicar tan sólo que ni la pregunta ni la respuesta se consideran relevantes para la investigación. Los paradigmas pueden ser previos, más coercitivos y más completos que cualquier conjunto de reglas de investigación que se pudiera extraer de ellos de manera inequívoca.

Hasta aquí la discusión ha sido puramente teórica: los paradigmas *podrían* determinar la ciencia normal sin la intervención de reglas detectables. Permítaseme ahora tratar de aumentar su claridad y su perentoriedad indicando algunas de las razones para creer que los paradigmas operan de hecho de esta manera. La primera, a la que ya hemos dedicado suficiente espacio, es la grave dificultad con que nos topamos a la hora de descubrir las reglas que han guiado a las tradiciones concretas de la ciencia normal. Tal dificultad es casi la misma que aquella con la que se encuentra el filósofo cuando intenta decir qué tienen en común todos los juegos. La segunda, de la que la primera en realidad es un corolario, se basa en la naturaleza de la educación científica. Ya debería estar claro que los científicos nunca aprenden conceptos, leyes y teorías por sí mismos, en abstracto. Por el contrario, estas herramientas intelectuales se encuentran desde el principio en una

unidad histórica y pedagógicamente previa que las muestra en sus aplicaciones y a través de ellas. Una teoría novedosa se anuncia siempre junto con sus aplicaciones a algún abanico concreto de fenómenos naturales, sin los cuales ni siquiera podría ser un candidato a la aceptación. Una vez que ha sido aceptada, estas mismas aplicaciones u otras distintas acompañan a la teoría en los textos en los que los futuros practicantes aprenderán su oficio. No aparecen allí tan sólo como adornos o siquiera como documentación. Por el contrario, los procesos de aprender una teoría dependen del estudio de aplicaciones, incluyendo la resolución práctica de problemas, tanto con papel y lápiz como con instrumentos en el laboratorio. Si, por ejemplo, el estudiante de la dinámica newtoniana llega a descubrir alguna vez el significado de términos como *fuerza, masa, espacio* y *tiempo,* no lo hace tanto por las definiciones incompletas, aunque a veces útiles, de su texto, cuanto por observar y participar en la aplicación de dichos conceptos a la solución de problemas.

Este proceso de aprendizaje preparándose y practicando continúa a lo largo de todo el proceso de iniciación profesional. A medida que el estudiante avanza desde su curso de iniciación hasta su tesis doctoral, los problemas que se le asignan se vuelven cada vez más complejos y menos plenamente trillados. Sin embargo, siguen estando tan estrechamente moldeados sobre logros anteriores como los problemas que normalmente lo ocupan a lo largo de su posterior carrera científica independiente. Si alguien quiere hacerlo, es muy libre de suponer que en algún punto de este camino el científico ha abstraído intuitivamente por

sí mismo las reglas del juego; pero no hay muchas razones para creerlo. Si bien muchos científicos son capaces de hablar con facilidad y propiedad acerca de las hipótesis concretas e individuales que subyacen a una investigación particular, no están en mejor posición que un lego a la hora de caracterizar las bases establecidas de su campo, sus problemas legítimos y sus métodos. Si han aprendido tales abstracciones, después de todo, dan muestras de ello principalmente a través de su capacidad de investigar con éxito; pero semejante habilidad se puede comprender sin necesidad de recurrir a hipotéticas reglas del juego.

A la inversa, estas consecuencias de la educación científica suministran una tercera razón para suponer que los paradigmas guían la investigación mediante un modelado directo así como mediante reglas abstractas. La ciencia normal puede avanzar sin reglas sólo en tanto cuanto la comunidad científica pertinente acepte las soluciones concretas a los problemas que ya han sido conseguidas sin ponerlas en tela de jucio. Las reglas por tanto deberían volverse importantes, desvaneciéndose la típica falta de interés por ellas, siempre que se considere que los paradigmas o modelos son inseguros. Además, eso es exactamente lo que ocurre. El periodo preparadigmático en particular está regularmente marcado por debates frecuentes y profundos acerca de los métodos, problemas y normas de solución legítimos, si bien sirven más bien para definir escuelas que para producir acuerdo. Ya hemos señalado algunos de esos debates en el caso de la óptica y la electricidad, si bien han desempeñado una función aún más importante en el desarrollo de la química del

siglo XVII y de la geología de comienzos del siglo XIX.[3] Además, ese tipo de debates no desaparece de una vez por todas cuando aparece un paradigma. Aunque prácticamente no existen durante los periodos de ciencia normal, reaparecen regularmente un poco antes y durante las revoluciones científicas, aquellos periodos en que los paradigmas primero están siendo atacados y luego están sometidos a cambio. La transición de la mecánica newtoniana a la cuántica despertó muchos debates, tanto sobre la naturaleza como sobre las normas de la física, algunos de los cuales todavía siguen.[4] Aún hay personas vivas que recuerdan argumentos similares generados por la teoría electromagnética de Maxwell y por la mecánica estadística.[5] Y antes aún, la asimilación de la mecánica de Galileo y Newton dio lugar a una especialmente famosa serie de debates con los aristotélicos, los cartesianos y los leibnizianos acerca de las normas legítimas de la ciencia.[6]

[3] Para la química, véase H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France*, pp. 24-27, 146-149; Marie Boas, *Robert Boyle*, cap. II. Para la geología, véase Walter F. Cannon, "The Uniformitarian-Catastrophist Debate", *Isis*, LI (1960), pp. 38-55; y C. C. Gillispie, *Genesis and Geology* (Cambridge, Massachusetts, 1951), caps. IV-V.

[4] Para las controversias sobre la mecánica cuántica, véase Jean Ullmo, *La crise de la physique quantique* (París, 1950), cap. II.

[5] Para la mecánica estadística, véase René Dugas, *La théorie physique*, pp. 158-84, 206-219. Para la recepción de la obra de Maxwell, véase Max Planck, "Maxwell's Influence in Germany", en *James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume 1831-1931* (Cambridge, 1931), pp. 45-65, esp. pp. 58-63; y Silvanus P. Thomson, *The Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (Londres, 1910), II, pp. 1021-1027.

[6] Para un ejemplo de la batalla con los aristotélicos, véase

Cuando los científicos discrepan acerca de si se han resuelto los problemas fundamentales de su campo, la búsqueda de reglas adquiere una relevancia de la que ordinariamente carece. Sin embargo, en tanto cuanto los paradigmas se mantengan firmes, pueden funcionar sin un acuerdo sobre la racionalización o sin ningún intento de racionalización en absoluto.

Podemos concluir este capítulo con una cuarta razón para conferir a los paradigmas un carácter anterior al de las reglas y suposiciones compartidas. En la introducción a este ensayo sugería que se pueden dar revoluciones pequeñas así como otras grandes, que algunas revoluciones afectan tan sólo a los miembros de una subespecialidad profesional, y que para tales grupos incluso el descubrimiento de un fenómeno nuevo e inesperado puede resultar revolucionario. La sección siguiente presentará algunos casos de revoluciones de ese tipo, distando aún de estar claro cómo es que pueden existir. Si la ciencia normal es tan rígida y si las comunidades científicas son tan cerradas como ha dado a entender la exposición precedente, ¿cómo es que un cambio de paradigma puede afectar sólo a un pequeño subgrupo? Lo dicho hasta aquí puede haber dado a entender que la ciencia normal es una empresa única, monolítica y unificada que ha de sostenerse o caer con cualquiera de sus paradigmas así como con todos ellos juntos. Mas, como es obvio, la ciencia rara vez es así, si alguna vez lo es. A menudo, cuando se consideran conjuntamente todos los campos, parece más bien una estructura destartalada, con escasa coherencia entre sus diversas partes. Con todo, nada de lo dicho hasta este punto debería entrar en conflicto con esta observación tan familiar. Por el contrario, sustituir los paradigmas por reglas haría que la diversidad de los campos y las especialidades científicas fuera más fácil de comprender. Las reglas explícitas, cuando existen, son normalmente algo común a un grupo científico muy amplio, cosa que no tiene por qué ocurrir con los paradigmas. Quienes practican campos muy separados, como por ejemplo la astronomía y la taxonomía botánica, se educan mediante la exposición a logros muy distintos descritos en libros muy diferentes. E incluso las personas que por estar en el mismo campo o en campos estrechamente relacionados, se inician mediante el estudio de muchos de los mismos libros y logros, pueden adquirir paradigmas bastante distintos en el trascurso de la especialización profesional.

Considérese, por poner un solo ejemplo, la comunidad muy grande y diversa formada por todos los físicos. Cada uno de los miembros de este grupo aprende hoy, digamos, las leyes de la mecánica cuántica y la mayoría de ellos emplean dichas leyes en algún momento de su investigación o enseñanza. Sin embargo, no todos aprenden las mismas aplicaciones de tales leyes, por lo que no se ven afectados de igual manera por los cambios

A. Koyré, "A Documentary Story of the Problem of Fall from Kepler to Newton", *Transactions of the American Philosophical Society*, XLV (1955), pp. 329-395. Para los debates con los cartesianos y leibnizianos, véase Pierre Brunet, *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII*e *siècle* (París, 1971); y A. Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, 1957), cap. XI [hay traducción española, *Del mundo cerrado al universo infinito*, Madrid, Siglo XXI, 1979].

en la práctica de la mecánica cuántica. En su camino hacia la especialización profesional, unos cuantos físicos se encuentran sólo con los principios básicos de la mecánica cuántica. Otros estudian en detalle las aplicaciones paradigmáticas de estos principios a la química, mientras que otros estudian las aplicaciones a la física del estado sólido, etc. El significado de la mecánica cuántica para cada uno de ellos depende de qué cursos ha hecho, qué textos ha leído y qué revistas estudia. De ello se sigue que si bien un cambio en las leyes de la mecánica cuántica resultará revolucionario para todos estos grupos, un cambio que incida tan sólo en una y otra de las aplicaciones paradigmáticas de la mecánica cuántica, sólo será revolucionario para los miembros de una subespecialidad profesional particular. Para el resto de la profesión y para quienes practican otras ciencias físicas, el cambio no tiene por qué ser revolucionario en absoluto. Dicho en pocas palabras, aunque la mecánica cuántica (o la dinámica newtoniana o la teoría electromagnética) sea un paradigma para muchos grupos científicos, no es el mismo paradigma para todos ellos. Como consecuencia, puede determinar de modo simultáneo diversas tradiciones de ciencia normal que se intersectan sin ser coextensas. Una revolución producida dentro de una de estas tradiciones no habrá de extenderse también a las demás necesariamente.

Un breve ejemplo del efecto de la especialización puede conferir una fuerza adicional a esta serie de consideraciones. Un investigador que quería aprender algo sobre qué consideraban los científicos que era la teoría atómica, preguntó a

un físico distinguido y a un químico eminente si un solo átomo de helio era o no una molécula. Ambos respondieron sin dudar, mas sus respuestas no coincidieron. Para el químico, el átomo de helio era una molécula porque se comportaba como tal por lo que respecta a la teoría cinética de gases, mientras que para el físico el átomo de helio no era una molécula porque no mostraba un espectro molecular.[7] Presumiblemente, ambas personas hablaban de la misma partícula, pero la veían a través de su propia formación y práctica investigadora. Sus experiencias en la resolución de problemas les dictaban qué debía ser una molécula. No cabe duda de que sus experiencias habían tenido mucho en común, aunque en este caso no les dictó lo mismo a ambos especialistas. A medida que avancemos podremos descubrir lo importantes que pueden ser en algunas ocasiones las diferencias de paradigma.

[7] El investigador era James K. Senior, a quien agradezco la información verbal. Algunas cuestiones relacionadas con ésta, se abordan en su artículo, "The Vernacular of the Laboratory", *Philosophy of Sciencie*, XXV (1958), pp. 163-168.

VI. LAS ANOMALÍAS Y EL SURGIMIENTO DE LOS DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS

La ciencia normal, la actividad de resolver rompecabezas que acabamos de examinar, es una empresa enormemente acumulativa y eminentemente eficaz en la consecución de su finalidad, que es la ampliación continuada del alcance y precisión del conocimiento científico. En todos estos aspectos encaja con toda exactitud con la imagen más usual del trabajo científico. Con todo, falta un resultado típico de la empresa científica. La ciencia normal no pretende encontrar novedades de hechos o de teorías, y cuando tiene éxito, no las encuentra. Sin embargo, la investigación científica descubre reiteradamente fenómenos nuevos e inesperados, y los científicos inventan una y otra vez teorías radicalmente nuevas. La historia sugiere incluso que la empresa científica ha desarrollado una técnica inmensamente poderosa para producir sorpresas de este tipo. Para reconciliar esta característica de la ciencia con lo que se ha dicho hasta aquí, es preciso que la investigación que sigue un paradigma sea un modo especialmente efectivo de inducir cambios paradigmáticos, pues a eso es a lo que dan lugar las novedades empíricas y teóricas fundamentales. Al ser producidas de manera involuntaria por un juego regido mediante un conjunto de reglas, su asimilación exige elaborar otro conjunto. Tras haberse convertido en parte de la ciencia, esta em-

presa nunca vuelve a ser del todo la misma, al menos la de aquellos especialistas en cuyo campo particular se encuentran las novedades.

Hemos de preguntarnos ahora cómo pueden producirse cambios de este tipo, considerando en primer lugar los descubrimientos o novedades de hecho, y luego las invenciones o novedades teóricas. No obstante, tal distinción entre descubrimiento e invento o entre hecho y teoría, pronto resultará ser extremadamente artificial. Su artificialidad constituye una pista importante para varias de las tesis principales de este ensayo. Al examinar algunos descubrimientos selectos en el resto de este capítulo, hallaremos enseguida que no constituyen sucesos aislados, sino que son episodios comunes con una estructura que recurre con regularidad. El descubrimiento comienza tomando conciencia de una anomalía, es decir, reconociendo que la naturaleza ha violado de algún modo las expectativas inducidas por el paradigma que gobierna la ciencia normal. Prosigue luego con una exploración más o menos amplia del área de la anomalía, y se cierra sólo cuando la teoría paradigmática se ha ajustado para que lo anómalo se vuelva algo esperado. La asimilación de un nuevo tipo de hecho exige un ajuste de la teoría que no se limita a ser un añadido, y hasta que no se termina dicho ajuste, hasta que el científico no haya aprendido a ver la naturaleza de un modo distinto, el hecho nuevo no es en absoluto un hecho plenamente científico.

Para mostrar lo íntimamente que se imbrican las novedades fácticas y teóricas en el descubrimiento científico, examinaremos un ejemplo particularmente famoso, el descubrimiento del oxí-

geno. Al menos tres personas diferentes tienen motivos para reclamarlo como suyo, y otros muchos químicos de comienzos de la década de 1770 pueden haber enriquecido el aire en un recipiente de su laboratorio sin saberlo.[1] El progreso de la ciencia normal, en este caso la química neumática, preparó el camino a una ruptura muy profunda. El primero de los candidatos a haber preparado una muestra relativamente pura del gas fue el boticario sueco C. W. Scheele. Con todo, podemos pasar por alto su trabajo dado que no se publicó hasta después de que el descubrimiento del oxígeno se hubo anunciado repetidamente en otras partes, por lo que careció de efectos sobre el patrón histórico que más nos interesa aquí.[2] El siguiente en reclamar la prioridad fue el científico y teólogo británico Joseph Priestley, que recogió el gas emitido por óxido rojo de mercurio calentado como una muestra más de una investigación normal en marcha sobre los "aires" emitidos por un gran número de sustancias sólidas. En 1774 identificó el gas producido de esta manera como óxi-

[1] Un tratamiento aún clásico del descubrimiento del oxígeno es el de A. N. Meldrum, *The Eighteenth-Century Revolution in Science. The First Phase* (Calcuta, 1939), cap. v. Una revisión reciente indispensable, que incluye un pormenor de la controversia sobre la prioridad, es Maurice Daumas, *Lavoisier, théoricien et expérimentateur* (París, 1955), caps. I-III. Para una explicación y bibliografía más cabal, véase también T. S. Khun, "The Historical Structure of Scientific Discovery", *Science*, CXXXVI (1° de junio de 1962), pp. 760-764 [ahora capítulo 7 de *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, 1967; hay traducción española, *La tensión esencial*, México, FCE, 1982].

[2] Véase, no obstante, Uno Bocklund, "A Lost Letter from Scheele to Lavoisier", *Lychnos*, 1957-1958, pp. 39-62, para una evaluación distinta del papel de Scheele.

do nitroso y en 1775, tras ulteriores pruebas, como aire ordinario con menos cantidad de flogisto de la usual. El tercer pretendiente, Lavoisier, inició el trabajo que lo condujo al oxígeno después de los experimentos de Priestley de 1774, y es posible que lo hiciera como resultado de las pistas suministradas por Priestley. A comienzos de 1775, Lavoisier informó de que el gas obtenido calentando el óxido rojo de mercurio era "el propio aire completo, sin alteración [excepto que]... más puro, más respirable".[3] Hacia 1777, probablemente con la ayuda de una segunda pista de Priestley, Lavoisier había llegado a la conclusión de que el gas constituía una especie distinta, uno de los dos constituyentes principales de la atmósfera, conclusión que Priestley nunca fue capaz de aceptar.

Este patrón de descubrimiento suscita una pregunta que se puede plantear acerca de todo fenómeno nuevo que se haya presentado a la conciencia de los científicos. ¿Quién fue el primero en descubrir el oxígeno, Priestley o Lavoisier, si es que fue alguno de ambos? En cualquier caso, ¿cuándo se descubrió el oxígeno? Planteada de esta manera, la pregunta podría formularse incluso si sólo hubiera existido un pretendiente. Aquí no nos interesa en absoluto una respuesta que emita un fallo acerca de la prioridad y de la fecha. Sin embargo, el intento de ofrecer un dictamen dará luz sobre la naturaleza del descubrimiento, pues no existe una respuesta del tipo buscado. El des-

[3] J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775-1779* ("Harvard Case Histories in Experimental Science, Case 2; Cambridge, Massachusetts, 1950), p. 23. Este utilísimo folleto reproduce muchos de los documentos pertinentes.

cubrimiento no es el tipo de proceso sobre el que sea adecuado plantear la pregunta. El hecho de que se formule (la prioridad en el descubrimiento del oxígeno se ha puesto repetidamente en tela de juicio desde la década de 1780), es un síntoma del sesgo en la imagen de la ciencia que confiere al descubrimiento un papel tan fundamental. Consideremos de nuevo nuestro ejemplo. La candidatura de Priestley a ser el descubridor del oxígeno se basa en la prioridad a la hora de aislar un gas que más tarde se identificó como una especie distinta. Pero la muestra de Priestley no era pura, y si sostener en la mano oxígeno impuro equivale a descubrirlo, entonces eso es algo que hizo cualquiera que haya embotellado alguna vez aire atmosférico. Además, si Priestley fue el descubridor, ¿cuándo hizo el descubrimiento? En 1774 creyó que había obtenido óxido nitroso, una especie que ya conocía; en 1775 vio el gas como aire desflogistizado, que no es aún oxígeno, ni siquiera un tipo inesperado de gas para los químicos del flogisto. La candidatura de Lavoisier puede que sea más sólida, pero presenta los mismos problemas. Si le negamos el premio a Priestley, no se lo podemos otorgar a Lavoisier por el trabajo de 1775, que lo llevó a identificar el gas como "el propio aire completo". Presumiblemente tenemos que esperar al trabajo de 1776 y 1777 que hizo que Lavoisier viera no solamente el gas sino también qué era el gas. Con todo, incluso esta concesión del premio podría ser objetada, pues en 1777 y hasta el fin de sus días, Lavoisier insistía en que el oxígeno era un "principio de acidez" atómico y que el gas oxígeno se formaba solamente cuando dicho "principio" se unía con el calórico, la materia del calor.[4] ¿Diremos por tanto que el oxígeno aún no se había descubierto en 1777? Algunos se sentirán tentados de hacerlo, pero el principio de acidez no se borró de la química hasta después de 1810, y el calórico subsistió hasta la década de 1860, mientras que el oxígeno se había convertido en una sustancia química normal antes de cualquiera de estas fechas.

Está claro que necesitamos un vocabulario y unos conceptos nuevos para analizar sucesos como el descubrimiento del oxígeno. Aunque sin duda sea correcta, la frase "el oxígeno fue descubierto" induce a error al sugerir que descubrir algo es un acto único y simple, asimilable a nuestro concepto usual de ver, que asimismo es cuestionable. Ésa es la razón de que supongamos con tanta facilidad que descubrir, al igual que ver o tocar, debería ser inequívocamente atribuible a un individuo y a un instante temporal. Mas esta última atribución es siempre imposible, cosa que también ocurre con frecuencia con la primera. Si ignoramos a Scheele, podemos decir con seguridad que el oxígeno no se había descubierto antes de 1774, y probablemente diríamos también que ya había sido descubierto hacia 1777 o poco después. Pero dentro de esos límites u otros similares, cualquier intento de fechar el descubrimiento será inevitablemente arbitrario, porque descubrir un nuevo tipo de fenómeno es necesariamente un suceso complejo que entraña reconocer tanto *que* algo es, como *qué* es. Adviértase, por ejemplo,

[4] H. Metzger, *La philosophie de la matière chez Lavoisier* (París, 1935); y Daumas, *Lavoisier, théoricien et expérimentateur,* cap. VII.

que si para nosotros el oxígeno fuese aire desflogistizado, diríamos sin el menor asomo de duda que lo descubrió Priestley, por más que sigamos sin saber cuándo exactamente. Pero si tanto la observación como la conceptualización, el hecho y la asimilación a una teoría, se encuentran inseparablemente unidos en el descubrimiento, entonces el descubrimiento es un proceso que ha de llevar tiempo. Tan sólo cuando todas las categorías conceptuales pertinentes están dispuestas por adelantado —en cuyo caso el fenómeno no sería de nuevo tipo—, descubrir *que* algo es y descubrir *qué* es podrá producirse sin dificultad, instantáneamente y a la vez.

Supongamos ahora que el descubrimiento entraña un proceso extenso, aunque no necesariamente largo, de asimilación conceptual. ¿Podemos decir también que entraña un cambio de paradigma? No se puede dar todavía una respuesta general a esta pregunta, pero en este caso al menos la respuesta ha de ser afirmativa. Lo que Lavoisier anunció en sus artículos desde 1777 no era tanto el descubrimiento del oxígeno cuanto la teoría de la combustión del oxígeno. Dicha teoría era la pieza clave de una reformulación de la química, tan vasta que generalmente se conoce como la revolución química. Ciertamente, si el descubrimiento del oxígeno no hubiera sido una parte consustancial del surgimiento de un paradigma nuevo para la química, el problema de la prioridad con el que empezamos la discusión nunca hubiera parecido tan importante. En este, como en otros casos, la evaluación de un nuevo fenómeno y por tanto de su descubrimiento, varía con nuestra estimación de en qué medida el fenómeno violaba las expectativas inducidas por el paradigma. Nótese, no obstante, ya que será importante más tarde, que el descubrimiento del oxígeno no fue en sí mismo la causa del cambio en la teoría química. Mucho antes de que desempeñara función alguna en el descubrimiento del nuevo gas, Lavoisier estaba convencido no sólo de que algo andaba mal en la teoría del flogisto, sino además de que los cuerpos absorbían al arder una parte de la atmósfera. Eso fue lo que dejó registrado en una nota sellada que depositó ante el secretario de la Academia francesa en 1772.[5] El resultado del trabajo sobre el oxígeno fue conformar y estructurar mucho más la primitiva sensación de Lavoisier de que algo estaba mal. Le comunicó algo que ya estaba preparado para descubrir: la naturaleza de la sustancia que la combustión toma de la atmósfera. Tener conciencia por adelantado de las dificultades tuvo que ser una parte significativa de lo que le permitió a Lavoisier ver en experimentos como los de Priestley un gas que el propio Priestley había sido incapaz de ver. A la inversa, el hecho de que se necesitara una revisión importante del paradigma para ver lo que vio Lavoisier, fue la razón principal de que Priestley haya sido incapaz de verlo hasta el fin de su larga vida.

Otros dos ejemplos mucho más breves contribuirán a apoyar lo que se acaba de decir, y a la vez nos llevarán de la elucidación de la naturaleza de los descubrimientos a la comprensión de

[5] La descripción más autorizada de los motivos del descontento de Lavoisier es la de Henry Guerlac, *Lavoisier—the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Ithaca, Nueva York, 1961).

las circunstancias según las cuales surgen en la ciencia. A fin de presentar los diferentes modos en que pueden producirse los descubrimientos, elegimos estos ejemplos de manera que difieren entre sí y del descubrimiento del oxígeno. El primero, los rayos X, es un caso clásico de descubrimiento accidental, un tipo de descubrimiento que se produce con mayor frecuencia de lo que los criterios impersonales de información científica nos permiten fácilmente constatar. La historia se inicia el día en que el físico Roentgen interrumpió una investigación normal sobre los rayos catódicos porque se había dado cuenta de que una pantalla de platinocianuro de bario que se hallaba a cierta distancia de su aparato blindado, brillaba cuando se producía la descarga. Investigaciones ulteriores, que ocuparon siete semanas febriles durante las cuales Roentgen prácticamente no salió del laboratorio, indicaron que la causa del brillo procedía en línea recta del tubo de los rayos catódicos, que la radiación proyectaba sombras, que no se podía desviar mediante un imán y muchas otras cosas. Antes de anunciar su descubrimiento, Roentgen se había convencido de que este efecto no se debía a los rayos catódicos, sino a un agente que presentaba algunas semejanzas al menos con la luz.[6]

Incluso un resumen tan breve descubre sorprendentes semejanzas con el descubrimiento del oxígeno: antes de experimentar con óxido rojo de mercurio, Lavoisier había realizado experimentos que no produjeron los resultados espe-

[6] L. W. Taylor, *Physics, the Pioneer Science* (Boston, 1941), pp. 790-794; y T. W. Chalmers, *Historic Researches* (Londres, 1949), pp. 218-219.

rados según el paradigma del flogisto, mientras que el descubrimiento de Roentgen comenzó al darse cuenta de que su pantalla brillaba cuando no debiera hacerlo. En ambos casos, la percepción de la anomalía, esto es, de un fenómeno para el que el paradigma no ha preparado al investigador, desempeñó una función esencial al desbrozar el camino para la percepción de la novedad. Pero, de nuevo en ambos casos, la percepción de que algo iba mal no fue más que el preludio al descubrimiento. Ni el oxígeno ni los rayos X surgieron sin un proceso ulterior de experimentación y asimilación. ¿En qué punto de la investigación de Roentgen, por ejemplo, habríamos de decir que se descubrieron de hecho los rayos X? En cualquier caso no en el primer instante, cuando lo único que se notó fue una pantalla que brillaba. Al menos otro investigador había visto semejante brillo y no descubrió nada en absoluto, para su posterior disgusto.[7] También está bastante claro que el momento del descubrimiento no se puede postergar a algún momento de la última semana de investigación, cuando Roentgen estaba explorando las propiedades de la nueva radiación que *ya* había descubierto. Lo único que podemos decir es que los rayos X aparecieron en Wurzburgo entre el 8 de noviembre y el 28 de diciembre de 1895.

Sin embargo, hay un tercer campo en el que es mucho menos visible la existencia de paralelis-

[7] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2ª ed., Londres, 1951), p. 358, nota 1. Sir George Thomson me ha informado de un segundo caso. Alertado por unas placas fotográficas inexplicablemente veladas, sir William Crookes estuvo también en la pista del descubrimiento.

mos significativos entre los descubrimientos del oxígeno y de los rayos X. Frente a lo que ocurrió con el descubrimiento del oxígeno, el de los rayos X, al menos durante una década después del suceso, no se vio implicado en ninguna hecatombe obvia en la teoría científica. ¿En qué sentido entonces se puede decir que la asimilación de dicho descubrimiento precisó un cambio paradigmático? Las razones para negar tal cambio son muy fuertes. No cabe duda de que los paradigmas aceptados por Roentgen y sus contemporáneos no habrían servido para predecir los rayos X. (La teoría electromagnética de Maxwell aún no había sido aceptada de manera general y la teoría particularista de los rayos catódicos no era más que una de las diversas explicaciones en curso.) Pero esos paradigmas tampoco prohibían, al menos de modo obvio, la existencia de los rayos X, al modo en que la teoría del flogisto había prohibido la interpretación que hacía Lavoisier del gas de Priestley. Por el contrario, en 1895 la teoría y la práctica científicas aceptadas admitían algunas formas de radiación, como la visible, la infrarroja y la ultravioleta. ¿Por qué no se podrían aceptar los rayos X como una forma más de una clase bien conocida de fenómenos naturales? ¿Por qué no se aceptaron, por ejemplo, a la manera en que se aceptaba el descubrimiento de un nuevo elemento químico? En la época de Roentgen aún se buscaban y se hallaban nuevos elementos para rellenar los lugares vacíos de la tabla periódica. Su búsqueda era un proyecto típico de la ciencia normal y su hallazgo era un motivo de parabienes y no de sorpresa.

Sin embargo, los rayos X no sólo se recibieron

con sorpresa, sino con pasmo. Lord Kelvin inicialmente los consideró un truco rebuscado.[8] Otros se sintieron claramente anonadados aunque no dudaran de las pruebas. Aunque la teoría vigente no prohibiera la existencia de rayos X, éstos violaban expectativas profundamente enraizadas. Sugiero que esas expectativas estaban implícitas en el diseño y la interpretación de los procedimientos de laboratorio establecidos. Para la década de 1890 el equipo de rayos catódicos estaba muy extendido en numerosos laboratorios europeos. Si el aparato de Roentgen había producido rayos X, entonces un buen número de otros experimentadores tenían que haber estado produciendo tales rayos durante algún tiempo sin darse cuenta. Tal vez esos rayos, que podrían tener perfectamente otras fuentes desconocidas, estuviesen implicados en conductas que anteriormente se habían explicado sin hacer referencia a ellos. En última instancia, varios tipos de aparatos desde hacía tiempo familiares, tendrían que aislarse con plomo en el futuro. Algunos trabajos ya terminados sobre proyectos normales, tendrían que repetirse de nuevo ahora porque los científicos anteriores no se habían dado cuenta ni habían controlado una variable pertinente. Sin duda los rayos X abrieron un nuevo campo incrementando de este modo el dominio potencial de la ciencia normal. Pero además, y ello es ahora lo que importa, cambió algunos campos preexistentes. En ese proceso negaron a tipos de instrumentación antes paradigmáticos el derecho a dicho título.

[8] Silvanus P. Thompson, *The Life of Sir William Thomson Baron Kelvin of Largs* (Londres, 1910), vol. II, p. 1125.

Dicho sea brevemente, de manera consciente o inconsciente, la decisión de emplear un equipo experimental particular y usarlo de un modo determinado, conlleva la suposición de que sólo se producirán cierto tipo de situaciones. Existen expectativas instrumentales además de teóricas que a menudo han desempeñado una función decisiva en el desarrollo científico. Una de esas expectativas forma parte, por ejemplo, de la historia del descubrimiento diferido del oxígeno. Como prueba típica de la "bondad del aire", tanto Priestley como Lavoisier mezclaron dos volúmenes de su gas con un volumen de óxido nítrico, agitaron la mezcla sobre agua y midieron el volumen del residuo gaseoso. La experiencia anterior a partir de la cual se había desarrollado este procedimiento estándar, les aseguraba que con aire atmosférico el residuo sería un volumen, y sería mayor para cualquier otro gas (o para el aire contaminado). En los experimentos del oxígeno ambos hallaron un residuo próximo a un volumen y en consecuencia identificaron el gas. Sólo mucho más tarde, y en parte merced a un accidente, Priestley abandonó el procedimiento normal y ensayó la mezcla del óxido nítrico con su gas en otras proporciones. Halló entonces que con un volumen cuádruple de óxido nítrico casi no quedaba residuo. Su compromiso con el procedimiento de prueba original, procedimiento sancionado por una cuantiosa experiencia anterior, era a la vez un compromiso con la no existencia de gases que se comportaran como el oxígeno.[9]

Se podrían multiplicar ejemplos de ese tipo

[9] Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory*, pp. 18-20.

aludiendo, por ejemplo, a la identificación tardía de la fisión del uranio. Una de las razones por las cuales esta reacción nuclear resultó especialmente difícil de reconocer era que las personas que sabían lo que era de esperar cuando se bombardeaba uranio, eligieron pruebas químicas orientadas principalmente a los elementos del extremo superior de la tabla periódica.[10] ¿Acaso hemos de concluir de la frecuencia con que tales compromisos instrumentales resultan engañosos, que la ciencia debería abandonar las pruebas y los instrumentos estándar? Sería un método de investigación inconcebible. Los procedimientos y las aplicaciones paradigmáticas son tan necesarios para la ciencia como las leyes y las teorías paradigmáticas, y poseen los mismos efectos. Inevita-

[10] K. K. Darrow, "Nuclear Fission", *Bell System Technical Journal*, XIX (1940), pp. 267-289. El criptón, uno de los dos principales productos de la fisión, parece no haber sido identificado por medios químicos hasta después de que la reacción fuese bien comprendida. El bario, el otro producto, fue casi identificado químicamente en un momento posterior de la investigación porque da la casualidad de que dicho elemento tenía que añadirse a la solución radiactiva a fin de precipitar el elemento pesado que andaban buscando los químicos nucleares. La incapacidad de separar el bario añadido del producto radiactivo llevó, después de que la reacción se hubiera investigado durante casi cinco años, al siguiente informe: "Como químicos, esta investigación debería llevarnos... a cambiar los nombres del esquema [de reacción] precedente, escribiendo Ba, La, Ce, en lugar de Ra, Ac, Th. Mas, en cuanto 'químicos nucleares' con íntimos lazos con la física, no podemos dar este salto que contradiría toda la experiencia anterior de la física nuclear. Puede ser que una serie de extraños accidentes vuelvan engañosos nuestros resultados" (Otto Hahn y Fritz Strassman, "Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehended Erdalkalimetalle", *Die Naturwissenschaften*, XXVII [1939], p. 15).

blemente restringen el campo fenomenológico de la investigación científica en cualquier momento dado. Reconociéndolo, hemos de comprender simultáneamente un sentido esencial en el que el descubrimiento de los rayos X exige a un segmento especial de la comunidad científica un cambio de paradigma y por tanto un cambio tanto en los procedimientos como en las expectativas. Como resultado de ello hemos de entender también de qué manera el descubrimiento de los rayos X pareció abrir un extraño mundo nuevo a muchos científicos, participando de este modo de una manera muy efectiva en la crisis que llevó a la física del siglo XX.

Nuestro último ejemplo de descubrimiento científico, el de la botella de Leyden, pertenece a un tipo que se podría describir como inducido por la teoría. A primera vista la expresión podría parecer paradójica. Gran parte de lo dicho hasta aquí sugiere que los descubrimientos que la teoría predice por adelantado forman parte de la ciencia normal y no dan lugar a ningún *nuevo tipo* de hechos. Por ejemplo, ya he hecho alusión a los descubrimientos de nuevos elementos químicos a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX, que procedían de la ciencia normal en este sentido. Mas no todas las teorías son teorías paradigmáticas. Tanto durante los periodos preparadigmáticos como durante las crisis que conducen a cambios paradigmáticos a gran escala, usualmente los científicos desarrollan muchas teorías especulativas e inarticuladas que pueden indicar el camino hacia un descubrimiento. No obstante, a menudo ese descubrimiento no es exactamente el anticipado por la hipótesis especulativa y tentativa. Sólo a medida que el experimento y la teoría tentativa se articulan conjuntamente, surge el descubrimiento y la teoría se convierte en un paradigma.

El descubrimiento de la botella de Leyden muestra todos estos aspectos así como los otros que ya hemos observado antes. Cuando comenzó, no había un paradigma único para la investigación eléctrica. Por el contrario, competían entre sí algunas teorías, todas las cuales derivaban de fenómenos relativamente accesibles. Ninguna de ellas conseguía organizar muy bien la gran diversidad de los fenómenos eléctricos. Esta falla es la fuente de varias de las anomalías que suministran el telón de fondo del descubrimiento de la botella de Leyden. Una de las escuelas rivales de electricistas consideraba que la electricidad era un fluido, y dicha idea llevó a algunas personas a intentar embotellar el fluido sosteniendo un recipiente de vidrio lleno de agua en la mano mientras tocaban el agua con un conductor suspendido de un generador electrostático activado. Al separar la botella de la máquina y tocar el agua (o un conductor conectado a ella) con la mano, estos investigadores experimentaban una fuerte sacudida. Con todo, estos primeros experimentos no suministraron a los electricistas la botella de Leyden. Tal artilugio surgió más lentamente y, una vez más, resulta imposible decir exactamente cuándo se terminó su descubrimiento. Los intentos iniciales de almacenar fluido eléctrico sólo funcionaron porque los investigadores sostenían el recipiente en sus manos mientras se mantenían de pie sobre el suelo. Los electricistas tenían todavía que aprender que la botella necesitaba no sólo una capa conductora interior sino también otra exterior, y que

el fluido en realidad no se almacena en absoluto en la botella. El instrumento que llamamos botella de Leyden surgió en algún punto en el curso de las investigaciones que les enseñaron estas cosas y les presentaron otros efectos anómalos diversos. Además, los experimentos que condujeron a su aparición, muchos de ellos realizados por Franklin, fueron los mismos que exigieron la revisión drástica de la teoría del fluido, suministrando así el primer paradigma pleno para la electricidad.[11]

En mayor o menor medida (correspondiente al continuo que va del resultado sorprendente al previsto), los rasgos comunes a los tres ejemplos de antes son característicos de todos los descubrimientos de los que surgen nuevos tipos de fenómenos. Dichas características incluyen la conciencia previa de la anomalía, el surgimiento gradual y simultáneo del reconocimiento tanto observacional como conceptual, y el consiguiente cambio de categorías y procedimientos paradigmáticos acompañados frecuentemente por alguna oposición. Existen pruebas de que estas mismas características forman parte incluso de la naturaleza del propio proceso perceptivo. En un experimento psicológico que merece ser mejor conocido fuera de su campo profesional, Bruner y Postman pedían a los sujetos experimentales que identificaran una serie de cartas de la baraja tras una exposición breve y controlada. Muchas de las cartas eran normales, pero algunas eran anómalas, como por ejemplo un seis de picas rojo y un cuatro de corazones negro. Cada pase experimental consistía en mostrar una única carta a un solo sujeto en una serie de exposiciones cada vez más largas. Tras cada exposición se le preguntaba al sujeto qué había visto y el pase terminaba con dos identificaciones correctas sucesivas.[12]

[11] Para las diversas etapas de la evolución de la botella de Leyden, véase I. E. Cohen, *Franklin and Newton an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Filadelfia, 1956), pp. 385-386, 400-406, 452-467, 506-507. La última etapa se describe en Whittaker, *A History*, pp. 50-52.

Incluso con las exposiciones más breves, muchos sujetos identificaban la mayoría de las cartas, y tras un pequeño aumento todos los sujetos las identificaban todas. En el caso de las cartas normales, dichas identificaciones eran usualmente correctas, pero las cartas anómalas casi siempre se identificaban como normales sin duda o perplejidad aparente. Así por ejemplo, el cuatro de corazones negro podía identificarse como cuatro de picas o de corazones. Sin ser conscientes de dificultad alguna, se hacía encajar la carta inmediatamente en una de las categorías conceptuales dispuestas por la experiencia anterior. Ni siquiera podríamos decir que los sujetos habían visto algo distinto de lo que identificaban. Con un ligero aumento en la exposición a las cartas anómalas, los sujetos comenzaron a dudar y a mostrar conciencia de la anomalía. Al verse expuestos, por ejemplo, al seis de picas rojo, algunos podían decir: es el seis de picas, pero tiene algo mal, el negro tiene un borde rojo. Un aumento adicional en la exposición daba lugar a mayores dudas y confusión, hasta que finalmente, y a me-

[12] J. S. Bruner y Leo Postman, "On the Perception of Incongruity: a Paradigm", *Journal of Personality*, XVIII (1949), pp. 206-223.

nudo repentinamente, la mayoría de los sujetos hacían la identificación correcta sin ninguna duda. Además, tras hacer esto con dos o tres de las cartas anómalas, no tenían mayor dificultad con las otras. Sin embargo, unos cuantos sujetos nunca fueron capaces de realizar los ajustes precisos en sus categorías. Incluso con una exposición 40 veces mayor que la media exigida para reconocer las cartas normales, más de 10% de las cartas anómalas no se identificaban correctamente. Y los sujetos que fracasaban entonces experimentaban a menudo una angustia aguda. Uno de ellos exclamó: "No sé qué palo es; esta vez ni siquiera parece una carta. No sé de qué color es ni si es una pica o un corazón. Ni siquiera estoy seguro ahora de cómo es una pica. ¡Cielo Santo!"[13] En la sección siguiente veremos cómo en ocasiones también los científicos se conducen de este modo.

Sea como metáfora o como reflejo de la naturaleza de la mente, este experimento psicológico ofrece un esquema maravillosamente simple y convincente del proceso de descubrimiento científico. Como en el experimento de los naipes, también en la ciencia la novedad surge contra un trasfondo compuesto de expectativas, no sin ciertas dificultades que se manifiestan por la resistencia a su aceptación. Inicialmente sólo se experimenta lo previsto y usual incluso en circunstancias en las que más tarde se observará la anomalía. No obstante, una mayor familiaridad produce la conciencia de que algo está mal o remite el efecto

[13] *Ibidem,* p. 218. Mi colega Postman me dice que por más que conociera por adelantado todos los detalles acerca del aparato y de la presentación, con todo se sentía profundamente incómodo al mirar las cartas incongruentes.

a algo que ha ido anteriormente mal. Esta conciencia de anomalía inaugura un periodo en el que las categorías conceptuales se ajustan hasta que lo inicialmente anómalo se convierta en lo previsto. En este punto se ha terminado el descubrimiento. Ya he insistido en que ese proceso u otro muy similar está implicado en el surgimiento de *todas* las novedades científicas fundamentales. Permítaseme ahora señalar que al reconocer dicho proceso podemos finalmente empezar a ver por qué la ciencia normal habría de ser un proceso tan efectivo para producir novedades por más que sea una empresa que no se dirija a descubrirlas y que inicialmente tienda a suprimirlas.

En el desarrollo de cualquier ciencia, lo usual es que se considere que el primer paradigma aceptado explica con éxito la mayoría de las observaciones y experimentos fácilmente accesibles a quienes practican dicha ciencia. No obstante, el desarrollo ulterior normalmente exige la construcción de un equipo refinado, el desarrollo de un vocabulario y habilidades esotéricas y un refinamiento de los conceptos que disminuye progresivamente su parecido con los prototipos de sentido común usuales. Esta profesionalización conduce por un lado a una inmensa restricción de la visión del científico y a una considerable oposición al cambio de paradigma. La ciencia se ha tornado mucho más rígida. Por otro lado, en aquellas áreas hacia las que el paradigma dirige la atención del grupo, la ciencia normal lleva a un detalle en la información y a una precisión de la correspondencia entre teoría y observación, que no se podría obtener de otro modo. Además, ese detalle y esa precisión en la correspondencia tie-

nen un valor que supera a su interés intrínseco, que no siempre es muy elevado. Sin el equipo especial construido fundamentalmente para las funciones previstas, no se darían los resultados que en última instancia llevan a las novedades. E incluso aunque exista el equipo, la novedad sólo se presenta a la persona que, sabiendo *con precisión* qué esperar, es capaz de reconocer que algo ha salido mal. La anomalía sólo aparece contra el trasfondo suministrado por el paradigma. Cuanto más preciso y mayor alcance tenga dicho paradigma, será un indicador tanto más sensible de la anomalía, siendo así una ocasión para el cambio de paradigma. En el modo normal de descubrimiento, incluso la oposición al cambio tiene una función que se explorará más extensamente en el capítulo siguiente. Al asegurar que el paradigma no se rinda con demasiada facilidad, la oposición garantiza que los científicos no se distraigan con cualquier cosa, y que las anomalías que lleven al cambio de paradigma hayan de penetrar hasta el núcleo del conocimiento existente. El mismo hecho de que sea tan frecuente que la misma novedad científica significativa surja simultáneamente en diversos laboratorios, es un indicio tanto de la naturaleza fuertemente tradicional de la ciencia normal como de la perfección con la que esta tarea tradicional prepara el camino para su propio cambio.

VII. LAS CRISIS Y EL SURGIMIENTO DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS

TODOS LOS DESCUBRIMIENTOS que hemos considerado en el capítulo VI causaron o contribuyeron a un cambio de paradigma. Además, los cambios en que se vieron implicados estos descubrimientos fueron destructivos a la vez que constructivos. Una vez asimilados los descubrimientos, los científicos fueron capaces de explicar un abanico más amplio de fenómenos naturales o de explicar con mayor precisión algunos de los fenómenos ya conocidos. Ahora bien, estas ganancias se consiguieron al precio de rechazar algunas creencias o procedimientos previamente establecidos, a la vez que se sustituían esos componentes del paradigma anterior por otros distintos. Ya he argumentado que los cambios de ese tipo están asociados con todos los descubrimientos obtenidos a través de la ciencia normal, exceptuando tan sólo aquellos nada sorprendentes que han sido anticipados, excepto en los detalles. Con todo, los descubrimientos no son las únicas fuentes de estos cambios paradigmáticos destructivo-constructivos. En este capítulo empezaremos a considerar los desplazamientos semejantes, aunque usualmente mayores, resultantes de la invención de teorías nuevas.

Una vez que ya hemos defendido que en las ciencias los hechos y las teorías, los descubrimientos y los inventos, no son categórica y defini-

tivamente distintos, podemos esperar cierto traslape entre este capítulo y el último. (La sugerencia insostenible de que Priestley descubrió primero el oxígeno y luego Lavoisier lo inventó, no deja de tener su atractivo. El oxígeno ya se había hallado como descubrimiento; pronto lo encontraremos de nuevo como invención.) Al considerar el surgimiento de nuevas teorías, ampliaremos también inevitablemente nuestra comprensión del descubrimiento. No obstante, el traslape no es lo mismo que la identidad. Los tipos de descubrimiento considerados en el capítulo anterior no fueron responsables, al menos aisladamente, de cambios de paradigma como la revolución copernicana, la newtoniana, la química y la de Einstein. Tampoco fueron responsables de los cambios de paradigma menores, por ser más exclusivamente profesionales, producidos por la teoría ondulatoria de la luz, la teoría dinámica del calor o la teoría electromagnética de Maxwell. ¿Cómo pueden surgir teorías de este tipo a partir de la ciencia normal, actividad que se dirige aún menos a su consecución que a la de los descubrimientos?

Si la conciencia de la anomalía desempeña una función en el surgimiento de nuevos tipos de fenómenos, a nadie habría de sorprender que una conciencia similar, aunque más profunda, sea un prerrequisito de todo cambio teórico aceptable. Sobre este punto creo que las pruebas históricas son completamente inequívocas. El estado de la astronomía tolemaica era un escándalo antes del anuncio de Copérnico.[1] La contribución de Galileo al estudio del movimiento dependió íntimamente de algunas dificultades descubiertas por los críticos escolásticos en la teoría de Aristóteles.[2] La nueva teoría de la luz y del color de Newton se originó con el descubrimiento de que ninguna de las teorías preparadigmáticas existentes daban cuenta de la longitud del espectro, mientras que la teoría ondulatoria que sustituyó a la newtoniana se anunció en medio de un creciente interés por anomalías relativas a los efectos de difracción y polarización en la teoría de Newton.[3] La termodinámica nació de la colisión de dos teorías físicas existentes en el siglo XIX, mientras que la mecánica cuántica surgió de toda una serie de dificultades relativas a la radiación del cuerpo negro, los calores específicos y el efecto fotoeléctrico.[4] Además, en todos estos casos, exceptuando

[1] A. R. Hall, *The Scientific Revolution, 1500-1800* (Londres, 1954), p. 16 [hay traducción española, *La revolución científica, 1500-1750*, Barcelona, Crítica, 1985. El pasaje sobre el "escándalo" citado por Kuhn aparecía en las ediciones de 1954 y 1960, pero fue omitido en la de 1983, sobre la que se ha hecho la traducción española].

[2] Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wisconsin, 1959), partes II-III. A. Koyré muestra unos cuantos elementos medievales en el pensamiento galileano en sus *Études galiléennes* (París, 1939), especialmente el volumen I [hay traducción española, *Estudios galileanos*, Madrid, Siglo XXI, 1980, cap. I].

[3] Para Newton, véase T. S. Kuhn, "Newton's Optical Papers", en *Isaac Newton's Papers and Letters in Natural Philosophy*, I. B. Cohen (ed.) (Cambridge, Massachusetts, 1958), pp. 27-45. Para el preludio a la teoría ondulatoria véase E. T. Whittaker, *A History*, pp. 94-109; y W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev., Londres, 1847), vol. II, pp. 396-466.

[4] Para la termodinámica, véase Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson*, vol. I, pp. 266-281. Para la teoría cuántica, véase Fritz Reiche, *The Quantum Theory*, trad. H. S. Hatfield y H. L. Brose (Londres, 1922), caps. I-II [hay traducción

el de Newton, la conciencia de la anomalía había durado tanto y había penetrado tan profundamente que se puede decir con toda propiedad que los campos afectados por ella se hallaban en un estado de crisis galopante. El surgimiento de teorías nuevas se ve usualmente precedido por un periodo de profunda inseguridad profesional debido a que exige una destrucción a gran escala del paradigma, así como grandes cambios en los problemas y técnicas de la ciencia normal. Como sería de esperar, dicha inseguridad está provocada por la persistente falla a la hora de resolver como se debería los rompecabezas de la ciencia normal. El fracaso de las reglas existentes es el preludio de la búsqueda de otras nuevas.

Examinemos para empezar un caso especialmente famoso de cambio de paradigma: el surgimiento de la astronomía copernicana. Cuando el sistema precedente, el de la astronomía tolemaica, se desarrolló inicialmente durante los dos últimos siglos antes de Cristo y los dos primeros siglos después de Cristo, resultaba admirablemente eficaz a la hora de predecir las posiciones cambiantes de las estrellas y los planetas. Ningún otro sistema antiguo lo había hecho nunca tan bien. Para las estrellas, el sistema tolemaico aún se usa hoy ampliamente como aproximación práctica, mientras que para los planetas, las predicciones de Tolomeo eran tan buenas como las de Copérnico. Pero que una teoría científica sea admirablemente eficaz no quiere decir que sea plenamente eficaz. El sistema de Tolomeo nunca coincidió

española de Julio Palacios, *Teoría de los Quanta: su origen y desarrollo*, Barcelona, Imp. Elzeviriana, 1922].

del todo con las mejores observaciones disponibles tanto en el caso de las posiciones planetarias como en el de la precesión de los equinoccios. La reducción ulterior de esas discrepancias menores constituyó gran parte de los principales problemas de la investigación astronómica normal para muchos de los sucesores de Tolomeo, a la manera en que los esfuerzos similares por hacer coincidir las observaciones celestes con la teoría newtoniana suministraron los problemas de investigación normal para los sucesores de Newton durante el siglo XVIII. Durante algún tiempo, los astrónomos tenían todas las razones para suponer que tales esfuerzos habrían de tener el mismo éxito que habían tenido los que condujeran al sistema tolemaico. Dada una discrepancia concreta, los astrónomos eran capaces invariablemente de eliminarla merced a algún ajuste particular en el sistema de círculos compuestos de Tolomeo. Pero, a medida que transcurría el tiempo, quien contemplara el resultado neto del esfuerzo de la ciencia normal de muchos astrónomos, podía ver que la complejidad de la astronomía crecía con más rapidez que su precisión, mientras que lo más probable era que la discrepancia corregida en un lugar, apareciera en otro.[5]

Debido a que la tradición astronómica se vio repetidamente interrumpida desde fuera y a que, al carecer de la imprenta, la comunicación entre los astrónomos era escasa, estas dificultades sólo lentamente se hicieron reconocibles. Pero acaba-

[5] J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2ª ed., Nueva York, 1953), caps. XI-XII.

ron notándose y en el siglo XIII, Alfonso X el Sabio podía decir que si Dios lo hubiera consultado al crear el universo, le hubiera dado un par de buenos consejos. En el siglo XVI, el colega de Copérnico, Domenico da Novara, sostenía que ningún sistema tan engorroso e inexacto como había llegado a ser el tolemaico podía representar verdaderamente la naturaleza. Y el propio Copérnico escribió en el prefacio al *De revolutionibus* que la tradición astronómica que había heredado había engendrado un monstruo. A comienzos del siglo XVI un número cada vez mayor de los mejores astrónomos europeos reconocía que el paradigma astronómico fallaba en la aplicación a sus propios problemas tradicionales. Tal reconocimiento era un requisito previo para el rechazo copernicano del paradigma de Tolomeo y para la búsqueda de uno nuevo. Su famoso prefacio sigue siendo una de las descripciones clásicas de un estado de crisis.[6]

Naturalmente, la falla de la actividad normal de resolución técnica de problemas no fue el único ingrediente de la crisis astronómica a la que se enfrentó Copérnico. Un tratamiento amplio de la cuestión habría de incluir la presión social para la reforma del calendario, presión que volvió especialmente urgente el problema de la precesión de los equinoccios. Además, una explicación plena habría de tomar en cuenta la crítica medieval a Aristóteles, el surgimiento del neoplatonismo renacentista, además de otros elementos históricos significativos. Con todo, el fracaso técnico seguiría siendo el núcleo de la crisis. En una ciencia madura, y la astronomía lo era ya desde la antigüedad, los factores externos del tipo de los mencionados antes son significativos sobre todo para determinar el momento del fracaso, la facilidad con que se reconoce y el área en que se produce por vez primera debido a que recibe allí especial atención. Aunque resulten enormemente importantes, este tipo de cuestiones cae fuera de los límites de este ensayo.

[6] T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Massachusetts, 1957), pp. 135-143 [hay traducción española, *La revolución copernicana*, Barcelona, Ariel, 1978 y 1996, pp. 185-195].

Si todo esto es patente en el caso de la revolución copernicana, pasemos de ella a un segundo ejemplo un tanto distinto, la crisis que precedió al surgimiento de la teoría del oxígeno sobre la combustión de Lavoisier. En la década de 1770 se combinaron diversos factores para generar una crisis en la química, si bien los historiadores no están plenamente de acuerdo tanto acerca de su naturaleza como de su importancia relativa. Pero en general se acepta que hay dos factores de la mayor trascendencia: la aparición de la química neumática y el problema de las relaciones de los pesos. La historia de la primera comienza en el siglo XVII con el desarrollo de la bomba de aire y su uso en la experimentación química. A lo largo del siglo siguiente, mediante el uso de esa bomba y de otros instrumentos neumáticos, los químicos se dieron progresivamente cuenta de que el aire debía de ser un ingrediente activo en las reacciones químicas. Mas con unas pocas excepciones, tan confusas que puede ser que no fueran excepciones en absoluto, los químicos continuaron creyendo que el aire era el único tipo de gas. Hasta 1756, cuando Joseph Black mostró que el

aire fijo (CO_2) era consistentemente distinto del aire normal, se pensaba que dos muestras de gas diferían tan sólo en las impurezas.[7]

Tras la obra de Black, la investigación sobre gases avanzó con rapidez, especialmente a manos de Cavendish, Priestley y Scheele, todos los cuales desarrollaron algunas nuevas técnicas capaces de distinguir una muestra de gas de otra. Todos ellos, de Black a Scheele, creían en la teoría del flogisto y la empleaban a menudo en el diseño y la interpretación de los experimentos. De hecho, Scheele fue el primero que produjo oxígeno mediante una compleja cadena de experimentos diseñados para desflogistizar el calor. Sin embargo, el resultado neto de sus experimentos fue tal diversidad de muestras de gas y propiedades de gases tan complicadas que la teoría del flogisto demostró ser cada vez menos útil para abordar la experiencia del laboratorio. Por más que ninguno de estos químicos sugiriera la necesidad de sustituir la teoría, fueron incapaces de aplicarla de manera consistente. Para el momento en que Lavoisier inició sus experimentos sobre aires a comienzos de la década de 1770, la teoría del flogisto tenía casi tantas versiones como químicos neumáticos había.[8] Esta proliferación de diferentes versiones de una teoría es un síntoma muy corriente de crisis. Copérnico también se quejaba de ello en su prefacio.

[7] J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2ª ed., Londres, 1951), pp. 48-51, 73-85, 90-120 [hay traducción española, *Historia de la química*, Madrid, Espasa-Calpe, 1945.]

[8] Aunque se ocupan fundamentalmente de un periodo algo posterior, se puede encontrar una gran cantidad de información pertinente en J. R. Partington y Douglas McKie, "Historical Studies on the Phlogiston Theory", *Annals of Science*, II (1937), pp. 361-404; III (1938), pp. 1-58, 337-371; y IV (1939), 337-371.

La creciente vaguedad y la decreciente utilidad de la teoría del flogisto para la química neumática no fue, sin embargo, la única fuente de la crisis a que se enfrentó Lavoisier. Estaba también muy preocupado por explicar el aumento de peso que la mayor parte de los cuerpos experimentan cuando se queman o calcinan, aumento que constituye un problema con una larga prehistoria. Al menos algunos químicos islámicos sabían que ciertos metales aumentan de peso cuando se calcinan. En el siglo XVII diversos investigadores habían concluido de este mismo hecho que un metal calcinado toma algún ingrediente de la atmósfera. Pero en el siglo XVII a la mayoría de los químicos le parecía innecesaria tal conclusión. Si las reacciones químicas podían alterar el volumen, el color y la textura de los ingredientes, ¿por qué no podrían alterar también el peso? El peso no siempre se consideraba una medida de la cantidad de materia. Además, el aumento de peso con la calcinación seguía siendo un fenómeno aislado. La mayor parte de los cuerpos naturales, como la madera, pierden peso al calcinarse, tal y como deberían, según iba a explicar luego la teoría del flogisto.

Con todo, durante el siglo XVIII estas respuestas al problema del aumento de peso que eran inicialmente adecuadas, se hicieron cada vez más difíciles de sostener. Los químicos descubrieron cada vez más casos en los que la calcinación iba acompañada de un aumento de peso. En parte ello se debía al creciente uso de la balanza como

aparato químico normal, y en parte porque el desarrollo de la química neumática hizo posible y deseable conservar los productos gaseosos de las reacciones. Simultáneamente la asimilación gradual de la teoría gravitatoria de Newton llevó a los químicos a insistir en que un aumento de peso tiene que significar un aumento de la cantidad de materia. Esas conclusiones no tuvieron como resultado el rechazo de la teoría del flogisto, pues dicha teoría podía ajustarse de varias maneras. Quizá el flogisto tuviese peso negativo, o tal vez a medida que el flogisto abandonaba el cuerpo calcinado penetraban en él partículas de fuego o alguna otra cosa. Había además otras explicaciones. Pero si el problema del aumento de peso no llevó al rechazo de la teoría, sí condujo a un aumento del número de estudios especiales en los que este problema ocupaba un lugar preeminente. Uno de ellos, titulado "Sobre el flogisto considerado como una sustancia con peso y [analizado] en términos de los cambios de peso que produce en los cuerpos con que se une", se leyó en la Academia francesa a comienzos de 1772, el año que se cerró con la entrega de Lavoisier de su famosa nota sellada al secretario de la Academia. Antes de que se escribiera dicha nota, un problema que se había mantenido en el borde de la conciencia de los químicos durante muchos años se había convertido en un sobresaliente rompecabezas sin resolver.[9] Para enfrentarse a él se elaboraron muchas versiones distintas de la teoría del

[9] H. Guerlac, *Lavoisier—the Crucial Year* (Ithaca, Nueva York, 1961). Todo el libro documenta la evolución y el reconocimiento de una crisis. Para una descripción clara de la situación por lo que respecta a Lavoisier, véase la página 35.

flogisto. Igual que los problemas de la química neumática, los del aumento de peso hacían cada vez más difícil saber qué era la teoría del flogisto. Aunque aún se creía y se confiaba en ella como instrumento de trabajo, este paradigma de la química del siglo XVIII iba perdiendo gradualmente su condición única. Progresivamente, la investigación guiada por él se parecía a la desarrollada en las escuelas en competencia del periodo preparadigmático, lo que constituye otro efecto típico de la crisis.

Consideremos ahora como tercer y último ejemplo la crisis en la física de finales del siglo XIX, que preparó el camino para el surgimiento de la teoría de la relatividad. Una de las raíces de dicha crisis se puede retrotraer a finales del siglo XVII, cuando algunos filósofos naturales, especialmente Leibniz, criticaban que Newton conservara una versión puesta al día de la concepción clásica del espacio absoluto.[10] Aunque nunca lo consiguieron del todo, estuvieron a punto de mostrar que las posiciones y los movimientos absolutos carecían de toda función en el sistema de Newton, y consiguieron sugerir el considerable atractivo estético que más tarde llegaría a mostrar una concepción plenamente relativista del espacio y del movimiento. Sin embargo, su crítica fue puramente lógica. Al igual que los copernicanos primitivos que criticaban las pruebas aristotélicas de la estabilidad terrestre, no soñaban con que la transición a un sistema relativista pudiera tener

[10] Max Jammer, *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics* (Cambridge, Massachusetts, 1954), pp. 114-124.

consecuencias observacionales. En ningún caso relacionaron sus puntos de vista con ninguno de los problemas surgidos al aplicar la teoría newtoniana a la naturaleza. Como resultado de ello, sus puntos de vista murieron con ellos a lo largo de las primeras décadas del siglo XVIII, resucitando tan sólo en las últimas décadas del siglo XIX, momento en que tuvieron una relación muy distinta con la práctica de la física.

Los problemas técnicos con los que en última instancia se habría de relacionar una filosofía relativista del espacio comenzaron a aparecer en la ciencia normal con la aceptación de la teoría ondulatoria de la luz a partir aproximadamente de 1815, si bien no despertaron crisis alguna hasta la última década del siglo. Si la luz es un movimiento ondulatorio propagado por un éter mecánico regido por las leyes de Newton, entonces tanto la observación de los cielos como la experimentación en la Tierra se vuelven potencialmente capaces de detectar el desplazamiento a través del éter. De las observaciones celestes, sólo las de la aberración prometían tener la precisión suficiente para suministrar una información relevante, y por tanto la detección del desplazamiento del éter merced a las medidas de la aberración se consagró como un problema de la ciencia normal. Se construyó una gran cantidad de equipo especializado para resolverlo, pero dicho equipo no detectó ningún desplazamiento observable y por tanto el problema fue transferido de los experimentalistas y observadores a los teóricos. Durante las décadas centrales del siglo, Fresnel, Stokes y otros ingeniaron numerosas articulaciones de la teoría del éter orientadas a explicar la

falla a la hora de observar el desplazamiento. Cada una de estas articulaciones suponía que un cuerpo en movimiento arrastra consigo una fracción del éter, siendo lo suficientemente adecuada para explicar los resultados negativos no sólo de la observación celeste, sino también de la experimentación terrestre, incluyendo el famoso experimento de Michelson y Morley.[11] Aún no había ningún conflicto que no fuese el existente entre las diversas articulaciones y, en ausencia de técnicas experimentales pertinentes, tal conflicto nunca se agudizó.

La situación cambió de nuevo en las dos últimas décadas de siglo XIX merced a la aceptación gradual de la teoría electromagnética de Maxwell. El propio Maxwell era un newtoniano que creía que la luz y el electromagnetismo en general se debían a desplazamientos variables de las partículas de un éter mecánico. Sus primeras versiones de la teoría de la electricidad y el magnetismo hacían un uso directo de las propiedades hipotéticas con las que dotaba a este medio. Aunque las eliminó de la versión final, seguía creyendo que la teoría electromagnética era compatible con alguna articulación del punto de vista mecánico de Newton.[12] El desarrollo de una articulación conveniente fue un reto para él y sus sucesores. Sin embargo, en la práctica, como ha ocurrido repeti-

[11] Joseph Larmor, *Aether and Matter... Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena* (Cambridge, 1900), pp. 6-20, 320-322.

[12] R. T. Glazebrook, *James Clerk Maxwell and Modern Physics* (Londres, 1896), cap. IX. Para la actitud final de Maxwell véase su propio libro *A Treatise on Electricity and Magnetism* (3ª ed., Oxford, 1892), p. 470.

damente en el desarrollo científico, la articulación requerida demostró ser inmensamente difícil de realizar. Del mismo modo que la propuesta astronómica de Copérnico, a pesar del optimismo de su autor, provocó una crisis creciente en las existentes teorías de movimiento; así, la teoría de Maxwell, a pesar de su origen newtoniano, terminó produciendo una crisis en el paradigma del que había surgido.[13] Además, el punto en que dicha crisis se hizo más aguda fue provocado por los problemas que hemos estado considerando, los del movimiento con respecto al éter.

La discusión maxwelliana de la conducta electromagnética de los cuerpos en movimiento no había hecho referencia al arrastre de éter y resultó muy difícil introducir tal arrastre en su teoría. Como resultado de ello, toda una serie de observaciones anteriores, ingeniadas para detectar el desplazamiento a través del éter, se volvieron anómalas. Por consiguiente, los años posteriores a 1890 fueron testigos de una larga serie de ensayos, tanto experimentales como teóricos, para detectar el movimiento con respecto al éter y para incluir en la teoría del Maxwell el arrastre de éter. Los primeros fracasaron uniformemente, si bien algunos analistas consideraron equívocos sus resultados. Los últimos produjeron algunos tanteos prometedores, en especial los de Lorentz y Fitzgerald, pero también revelaron otros rompecabezas y finalmente produjeron precisamente esa proliferación de teorías competitivas que, como ya hemos encontrado antes, acompañan a las

[13] Para la función de la astronomía en el desarrollo de la mecánica, véase Kuhn, *The Copernican Revolution*, cap. VII.

crisis.[14] En este contexto histórico, surgió en 1905 la teoría especial de la relatividad de Einstein.

Estos tres ejemplos son casi del todo típicos. En cada uno de estos casos tan sólo surge una teoría nueva tras una pronunciada falla en la actividad normal de resolución de problemas. Además, excepto en el caso de Copérnico, en el que los factores externos a la ciencia desempeñaron una función especialmente importante, el fracaso y la proliferación de teorías que lo anuncian ocurrieron no más de una década o dos antes de la formulación de la nueva teoría. La teoría nueva parece una respuesta directa a la crisis. Nótese además, aunque esto quizá no sea tan típico, que los problemas respecto a los cuales se produjo el fracaso eran todos de un tipo que ya había sido reconocido desde hacía mucho. La práctica anterior de la ciencia normal tenía todo tipo de razones para considerarlos resueltos o casi resueltos, lo que contribuye a explicar por qué, cuando se produjo el sentimiento de fracaso, resultó tan agudo. El fracaso con un nuevo tipo de problema es frecuentemente frustrante, aunque nunca sorprendente. A menudo, ni los problemas ni los rompecabezas ceden al primer ataque. Finalmente, estos ejemplos comparten otra característica que puede contribuir a exponer las razones para explicar el papel primordial que desempeñan las crisis: la solución de cada uno de ellos había sido anticipada, al menos en parte, durante un periodo en el que no había crisis en la ciencia correspondiente, y en ausencia de crisis, tales anticipaciones se habían ignorado.

[14] Whittaker, *A History*, I, pp. 386-410; II, pp. 27-40.

La única anticipación completa es también la más famosa, la de Copérnico por parte de Aristarco en el siglo III a. C. Se ha dicho a menudo que si la ciencia griega hubiese sido menos deductiva y menos dogmática, la astronomía heliocéntrica podría haber comenzado su desarrollo 18 siglos antes de lo que lo hizo.[15] Mas eso significa ignorar por completo el contexto histórico. Cuando Aristarco hizo su sugerencia, el sistema geocéntrico era enormemente más razonable y no tenía ninguna carencia que un sistema heliocéntrico pudiese suplir. Todo el desarrollo de la teoría tolemaica, tanto sus triunfos como sus fracasos, pertenecen a los siglos posteriores a la propuesta de Aristarco. Además, no había ninguna razón obvia para tomar en serio a Aristarco. Incluso la propuesta más elaborada de Copérnico no era ni más simple ni más precisa que el sistema de Tolomeo. Las pruebas observacionales disponibles, como veremos más adelante con mayor claridad, no justificaban la elección entre ellas. En tales circunstancias, uno de los factores que condujeron a los astrónomos al copernicanismo, factor que no los habría llevado al sistema de Aristarco, fue el reconocimiento de la crisis que había sido inicialmente la responsable de la innovación. La astronomía tolemaica no había conseguido resolver sus problemas, por lo que había llegado el momento de dar la alternativa a un competidor. Nuestros otros dos ejemplos no muestran una anticipación completa semejante. No obstante, no cabe duda de que una de las razones por las que las teorías de la combustión por absorción de la atmósfera (teorías desarrolladas en el siglo XVII por Rey, Hooke y Mayow) no consiguieran atraer un público suficiente fue porque no establecieron contacto con un área problemática reconocible en la práctica de la ciencia normal.[16] Y el prolongado olvido por parte de los científicos de los siglos XVIII y XIX de los críticos relativistas de Newton ha de haberse debido en gran medida a la ausencia similar de un conflicto.

[15] Para la obra de Aristarco, véase T. L. Heath, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus* (Oxford, 1913), parte II. Para una opinión extrema de la posición tradicional acerca del olvido del logro de Aristarco, véase Arthur Koestler, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe* (Londres, 1959), p. 50 [hay traducción española, *Los sonámbulos. Historia de la cambiante cosmovisión del hombre*, Buenos Aires, Eudeba, 1963, p. 51].

Los filósofos de la ciencia han demostrado repetidamente que una colección dada de datos puede ser cubierta siempre por más de una construcción teórica. La historia de la ciencia indica que, especialmente en los primeros estadios del desarrollo de un nuevo paradigma, ni siquiera es muy difícil inventar tales alternativas. Pero la invención de alternativas es algo que justamente los científicos rara vez emprenden excepto durante la etapa preparadigmática del desarrollo de su ciencia, y en ocasiones muy especiales a lo largo de su subsiguiente evolución. En la medida en que las herramientas suministradas por el paradigma continúan demostrando su capacidad de resolver los problemas que define, la ciencia se mueve muy aprisa y penetra con gran profundidad merced a la utilización confiada de dichas herramientas. La razón es clara. En la ciencia ocurre

[16] Partington, *A Short History of Chemistry*, pp. 78-85.

como en las manufacturas: el cambio de herramientas es una extravagancia que se reserva para las ocasiones que lo exigen. El significado de las crisis es que ofrecen un indicio de que ha llegado el momento de cambiar de herramientas.

VIII. LA RESPUESTA A LA CRISIS

Supongamos que la crisis sea una condición necesaria para el surgimiento de teorías nuevas y preguntémonos entonces cómo responden los científicos a su presencia. Parte de la respuesta, importante por obvia que sea, se puede descubrir señalando en primer lugar lo que los científicos no hacen nunca cuando se enfrentan a anomalías incluso graves y prolongadas. Por más que empiecen a perder la fe y a tomar luego en cuenta las alternativas, no renuncian al paradigma que los ha llevado a la crisis. Esto es, no consideran a las anomalías como contraejemplos, aunque lo sean según la manera de hablar de la filosofía de la ciencia. Esta generalización no es en parte más que el reconocimiento de un hecho histórico, basado en ejemplos como los que hemos puesto antes y en otros que trataremos más extensamente a continuación. Tales ejemplos sugieren lo que el examen del rechazo del paradigma del que nos ocuparemos más adelante descubrirá de manera más completa: una vez que ha alcanzado la condición de paradigma, una teoría científica sólo se considerará inválida si hay disponible un candidato alternativo para ocupar su lugar. No hay ningún proceso que los estudios históricos del desarrollo científico hayan puesto hasta ahora de manifiesto que tenga la menor semejanza con el estereotipo metodológico de falsación por contrastación directa con la naturaleza. Esta obser-

vación no quiere decir que los científicos no rechacen teorías científicas ni que la experiencia y la experimentación no sean esenciales en el proceso que conduce a ello. Lo que quiere decir, y que constituirá un punto central, es que el juicio que lleva a los científicos a rechazar una teoría previamente aceptada se basa siempre en algo más que en una contrastación de dicha teoría con el mundo. La decisión de rechazar un paradigma conlleva siempre simultáneamente la decisión de aceptar otro, y el juicio que lleva a tal decisión entraña la comparación de ambos paradigmas con la naturaleza *y* entre sí.

Hay además una segunda razón para dudar de que los científicos rechacen los paradigmas por enfrentarse a anomalías o contraejemplos. Al desarrollarla, mi argumentación prefigurará otra de las tesis centrales de mi ensayo. Las razones para dudar bosquejadas más arriba eran puramente fácticas; esto es, eran ellas mismas contraejemplos a una teoría epistemológica dominante. En cuanto tales, si mi posición es correcta en este punto, lo máximo que pueden hacer es crear una crisis o, más exactamente, reforzar la que en gran medida ya exista. Por sí mismas no pueden falsar ni falsarán esa teoría filosófica, pues sus partidarios se comportarán del modo en que ya hemos visto que se conducen los científicos cuando se enfrentan a una anomalía. Ingeniarán numerosas articulaciones y modificaciones *ad hoc* de su teoría a fin de eliminar cualquier conflicto aparente. Muchas de las modificaciones y calificaciones pertinentes se encuentran ya de hecho en la bibliografía. Por tanto, si estos contraejemplos epistemológicos han de ser algo más

que una irritación menor, será porque contribuyen a permitir el surgimiento de un análisis de la ciencia nuevo y diferente, para el que ya no sean una fuente de problemas. Además, si se puede aplicar aquí un patrón típico que observaremos más adelante en las revoluciones científicas, entonces dichas anomalías ya no aparecerán como simples hechos. Desde una nueva teoría del conocimiento científico, se asemejarán más bien a las tautologías; esto es, a enunciados de situaciones que no son concebibles de otro modo.

Se ha observado a menudo, por ejemplo, que la segunda ley del movimiento de Newton, por más que su consecución hubiese exigido siglos de difícil investigación empírica y teórica, para los comprometidos con la teoría newtoniana funciona en gran medida como un enunciado puramente lógico que ningún conjunto de observaciones podría refutar.[1] En el capítulo x veremos que la ley química de las proporciones fijas, que antes de Dalton era un ocasional hallazgo experimental de generalidad muy dudosa, después de la obra de Dalton pasó a ser un ingrediente de la definición de compuesto químico que ningún trabajo experimental hubiera podido refutar por sí mismo. Algo muy parecido ocurrirá también con la generalización de que los científicos no rechazan los paradigmas cuando se enfrentan a anomalías o contraejemplos. No pueden hacer tal cosa si quieren seguir siendo científicos.

Algunas personas sin duda se han visto obliga-

[1] Véase en especial la discusión en N. R.. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), pp. 99-105 [hay traducción española, *Patrones del descubrimiento*, Madrid, Alianza, 1977, pp. 203-212].

das a abandonar la ciencia por su incapacidad para tolerar una crisis, aunque es poco probable que la historia recoja sus nombres. Al igual que los artistas, los científicos creadores tienen que ser capaces en ocasiones de vivir en un mundo descoyuntado, exigencia que en otro lugar he descrito como "la tensión esencial" implícita en la investigación científica.[2] Pienso que el único tipo de rechazo paradigmático al que pueden conducir los contraejemplos por sí mismos es el rechazo de la ciencia en favor de otra ocupación. Una vez que se ha hallado un primer paradigma a través del cual ver la naturaleza, no existe investigación en ausencia de algún paradigma, por lo que rechazar un paradigma sin sustituirlo a la vez por otro es rechazar la propia ciencia. Tal acto repercute sobre la persona, no sobre el paradigma. Inevitablemente, tal persona será considerada por sus colegas como "el carpintero que hecha la culpa a sus herramientas".

La situación inversa se puede defender al menos con igual efectividad: no existe investigación sin contraejemplos. En efecto, ¿qué distingue a la ciencia normal de la ciencia en situación de crisis? Sin duda, no que la primera carezca de contraejemplos. Por el contrario, lo que habíamos llamado antes los rompecabezas que constituyen la ciencia normal, existen únicamente porque ningún paradigma que ofrezca un fundamento para la investigación científica resuelve nunca por completo todos sus problemas. Los escasos casos que han parecido hacerlo (como por ejemplo la óptica geométrica) poco después han dejado por completo de ofrecer problemas de investigación, convirtiéndose por el contrario en herramientas para la ingeniería. Con la excepción de los exclusivamente instrumentales, todo problema considerado por la ciencia normal como un rompecabezas puede interpretarse desde otro punto de vista como un contraejemplo y, por tanto, como una fuente de crisis. Copérnico vio como contraejemplos lo que la mayoría de los demás seguidores de Tolomeo habían considerado como rompecabezas en la correspondencia entre observación y teoría. Lavoisier vio como contraejemplo lo que a Priestley le había parecido un rompecabezas satisfactoriamente resuelto en la articulación de la teoría del flogisto. Finalmente Einstein vio como contraejemplos lo que Lorentz, Fitzgerald y otros habían visto como rompecabezas en la articulación de las teorías de Newton y Maxwell. Además, incluso la existencia de una crisis no transforma por sí misma un rompecabezas en un contraejemplo. No existe una línea divisoria tajante, sino que mediante la proliferación de versiones del paradigma, la crisis relaja las reglas de resolución normal de problemas en modo tal que termina permitiendo el surgimiento de un nuevo paradigma. Según creo, sólo hay dos alternativas: o bien ninguna teoría científica se enfrenta nun-

[2] T. S. Kuhn, "The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research", en *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Creative Scientific Talent*, Calvin W. Tailor (ed.) (Salt Lake City, 1959), pp. 162-177 [ahora cap. 9 de T. S. Kuhn *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, The University of Chicago Press, 1977; hay traducción española, *La tensión esencial*, México, FCE, 1981]. Para un fenómeno comparable entre los artistas, véase Frank Barron, "The Psychology of Imagination", *Scientific American* CXCIX (septiembre de 1958), pp. 151-166, esp. p. 160.

ca a un contraejemplo o bien todas las teorías se enfrentan continuamente a contraejemplos.

¿Cómo es que la situación puede haber parecido distinta? Esta pregunta conduce necesariamente a la elucidación histórica y crítica de la filosofía, y tales temas están aquí excluidos. Pero al menos podemos señalar dos razones por las cuales la ciencia ha parecido suministrar una ilustración tan adecuada de la generalización según la cual la verdad y la falsedad están determinadas única e inequívocamente por la confrontación entre enunciados y hechos. La ciencia normal debe esforzarse continuamente, y de hecho lo hace, por producir un acuerdo más estrecho entre teoría y hechos, y dicha actividad puede interpretarse fácilmente como contrastación o como búsqueda de confirmación o falsación. En cambio, su objetivo es resolver un rompecabezas para cuya mera existencia ha de suponerse la validez del paradigma. El fracaso a la hora de lograr una solución desacredita únicamente al científico y no a la teoría. Aquí se aplica más aún que antes el proverbio: "es un mal carpintero el que culpa a sus herramientas". Además, el modo en que la pedagogía científica embrolla la discusión de la teoría con consideraciones acerca de sus aplicaciones ejemplares ha contribuido a reforzar una teoría de la confirmación extraída predominantemente de otras fuentes. Si se le da la más mínima razón para ello, la persona que lee un texto científico será proclive a considerar las aplicaciones como pruebas a favor de la teoría, como las razones por las que habría de ser creída. Pero los estudiantes de ciencia aceptan las teorías por la autoridad del profesor y del texto, no por las pruebas.

¿Qué alternativas o qué competencia habrían de tener? Las aplicaciones dadas en los textos no están allí como pruebas, sino porque aprenderlas es parte de aprender el paradigma en que se basa la práctica ordinaria. Si las aplicaciones se ofrecieran como pruebas, entonces la propia falla de los textos a la hora de sugerir interpretaciones alternativas o de discutir problemas cuyas soluciones paradigmáticas no han conseguido producir los científicos convertiría a sus autores en culpables de una tendenciosidad extrema. Pero no existe el menor motivo para tal acusación.

Volviendo entonces a la pregunta inicial, ¿cómo responden los científicos a la conciencia de una anomalía en la correspondencia entre teoría y naturaleza? Lo dicho hasta aquí indica que incluso una discrepancia enormemente mayor que la experimentada en otras aplicaciones de la teoría no tiene por qué suscitar una respuesta muy profunda. Siempre hay algunas discrepancias e incluso las más obstinadas acaban respondiendo finalmente a la práctica normal. Muy a menudo los científicos están dispuestos a esperar, especialmente si hay muchos problemas disponibles en otras partes del campo. Por ejemplo, ya hemos señalado que durante los 60 años posteriores al cómputo original de Newton, el movimiento predicho del perigeo lunar era tan sólo la mitad de lo observado. Mientras que los mejores físicos matemáticos de Europa seguían luchando sin éxito con esta discrepancia de sobra conocida, hubo algunas propuestas ocasionales de modificar la ley del inverso del cuadrado de Newton. Pero nadie tomó tales propuestas muy en serio y en la práctica dicha paciencia con una anomalía im-

portante demostró estar justificada. En 1750 Clairaut fue capaz de mostrar que lo único equivocado habían sido las matemáticas de la aplicación y que la teoría newtoniana podía mantenerse como hasta entonces.[3] Incluso en los casos en los que los meros errores no parecen en absoluto posibles (tal vez porque las matemáticas implicadas son más simples o de un tipo familiar y efectivo en otros lugares), una anomalía persistente y reconocida no siempre induce una crisis. Ninguna de ellas puso seriamente en tela de juicio la teoría newtoniana debido a las discrepancias conocidas desde hacía tiempo entre las predicciones de dicha teoría y tanto la velocidad del sonido como el movimiento de Mercurio. La primera discrepancia se resolvió finalmente, y de manera totalmente inesperada, merced a experimentos sobre el calor emprendidos para un fin muy distinto; la segunda se desvaneció con la teoría general de la relatividad tras una crisis en cuya creación no había desempeñado papel alguno.[4] Al parecer ninguna de ellas había parecido lo bastante fundamental para despertar el malestar que acompaña a las crisis. Podrían considerarse contraejemplos y aun así dejarse de lado para más adelante.

De ahí se sigue que si una anomalía ha de despertar una crisis, usualmente ha de ser algo más que una anomalía. Siempre hay dificultades en algún punto del ajuste entre el paradigma y la naturaleza, y la mayoría de ellas se arreglan tarde o temprano, a menudo mediante procesos que no se habrían podido prever. El científico que se pare a examinar cualquier anomalía que se le presente, pocas veces hará algún trabajo importante. Hemos de preguntarnos por tanto qué es lo que hace que una anomalía parezca merecer un examen colectivo, pregunta que tal vez no tenga una respuesta plenamente general. Los casos que ya hemos examinado son típicos, aunque escasamente reveladores. En ocasiones una anomalía pone claramente en tela de juicio algunas generalizaciones explícitas y fundamentales del paradigma, como ocurrió con el problema del arrastre de éter para quienes aceptaban la teoría de Maxwell. O, como en el caso de la revolución copernicana, una anomalía sin un alcance aparentemente fundamental puede provocar una crisis si las aplicaciones que impide poseen una importancia práctica particular, en este caso para el diseño del calendario y la astrología. O, como ocurrió con la química del siglo XVIII, el desarrollo de la ciencia normal puede transformar en una fuente de crisis una anomalía que antes sólo había sido una contrariedad, pues el problema de las relaciones de peso adquirió una importancia completamente distinta tras la evolución de las técnicas de la química neumática. Es de presumir que pueda haber otras circunstancias que puedan convertir una anomalía en algo particularmente apremiante, y lo normal es que se combinen varias de ellas. Por ejemplo, ya hemos señalado que una fuente de la crisis a la que se enfrentó Copérnico fue la mera extensión del lapso de tiempo durante el cual los astrónomos habían luchado

[3] W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev., Londres, 1847), II, pp. 220-221.

[4] Para la velocidad del sonido, véase T. S. Kuhn, "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, XLIV (1958), pp. 1936-1937. Para el desplazamiento secular del perihelio de Mercurio, véase E. T. Whittaker, *A History*, II, pp. 151, 179.

sin éxito con la reducción de las discrepancias residuales en el sistema de Tolomeo.

Cuando, debido a estas u otras razones similares, se considera que una anomalía es algo más que otro rompecabezas de la ciencia normal, ha comenzado la transición hacia la crisis y la ciencia extraordinaria. La profesión comienza a considerar de manera más generalizada que la anomalía es realmente tal. Un número creciente de las personas más eminentes del campo le presta cada vez más atención. Si continúa resistiéndose, cosa que usualmente no ocurre, muchos de ellos llegarán a considerar su resolución como *el* objeto de su disciplina. Para ellos el campo ya no parecerá el mismo que antes. En parte, su distinto aspecto es un simple resultado del nuevo punto en que se fija la atención científica. Una fuente aún más importante de cambio es la naturaleza divergente de las numerosas soluciones parciales que la atención colectiva al problema ha puesto sobre el tapete. Los ataques anteriores al problema resistente habrán seguido muy al pie de la letra las reglas del paradigma, pero con la persistente resistencia un número cada vez mayor de los ataques habrán implicado algunas articulaciones pequeñas o no tan pequeñas del paradigma, todas ellas distintas, cada una de ellas parcialmente eficaz, pero ninguna lo bastante para ser aceptada como paradigma por el grupo. A través de esta proliferación de articulaciones divergentes que cada vez con mayor frecuencia se considerarán ajustes *ad hoc*, las reglas de la ciencia normal se van haciendo cada vez más borrosas. Aunque aún exista un paradigma, pocos de los practicantes mostrarán estar totalmente de acuerdo acerca de cuál es, e

incluso se pondrá en tela de juicio lo que antes eran soluciones normales a problemas zanjados.

Cuando esta situación se vuelve aguda, en ocasiones los científicos implicados se dan cuenta de ella. Copérnico se lamentaba de que en su época los astrónomos eran tan "inconsistentes en estas investigaciones [astronómicas]... que ni siquiera podían explicar u observar la longitud constante del año estacional". "Con ellos —prosigue— es como si un artista tomara de diversos modelos las manos, los pies, la cabeza y los demás miembros de sus retratos, de manera que cada una de las partes estuviera excelentemente trazada, aunque sin relación con un único cuerpo; y puesto que no encajan entre sí, el resultado será un monstruo más bien que un hombre".[5] Einstein, en una época en que no se acostumbraba un lenguaje tan florido, se limitó a escribir: "Fue como si el suelo desapareciese bajo los pies, sin que pareciera haber por ningún lado unos cimientos firmes sobre los que se pudiera edificar".[6] Asimismo, en los meses anteriores a que el artículo de Heisenberg sobre mecánica matricial señalara el camino a una nueva teoría cuántica, Wolfgang Pauli escribía a un amigo: "En este momento la física está de nuevo en un estado de terrible confusión. En

[5] Citado en T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Massachusetts, 1957), p. 138 [hay traducción española, *La revolución copernicana*, Barcelona, Ariel, 1978 y 1996, p. 189; véase N. Copérnico, *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, edición de Carlos Mínguez, Madrid, Tecnos, 1987, p. 9].

[6] Albert Einstein, "Autobiographical Note", en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, P. A. Schilpp (ed.) (Evanston, Illinois, 1949), p. 45 [hay traducción española, *Notas autobiográficas*, Madrid, Alianza 1984, p. 46].

cualquier caso, me resulta demasiado difícil y desearía haber sido un actor de cine o algo por el estilo y no haber oído hablar nunca de física". Tal testimonio resulta especialmente impresionante si se compara con las palabras de Pauli menos de cinco meses más tarde: "El tipo de mecánica de Heisenberg me ha llenado de nuevo de esperanza y de alegría vital. Bien es cierto que no ofrece la solución al enigma, mas creo que es posible avanzar de nuevo".[7]

Estos reconocimientos explícitos de un fracaso son extremadamente raros, si bien los efectos de la crisis no dependen completamente de su reconocimiento consciente. ¿Cuáles podríamos decir que son esos efectos? Sólo dos de ellos parecen ser universales. Todas las crisis comienzan con el desdibujamiento de un paradigma y la consiguiente relajación de las normas de la investigación normal. A este respecto, la investigación durante una crisis se parece mucho a la investigación durante el periodo preparadigmático, excepto que en el primer caso el núcleo de la discrepancia es a la vez menor y está definido con mayor claridad. Además, todas las crisis se cierran de tres maneras posibles. En ocasiones, la ciencia normal termina demostrando ser capaz de manejar el problema que ha provocado la crisis, a pesar de la desesperación de quienes la habían considerado como el final de un paradigma

[7] Ralph Kronig, "The Turning Point", en *Theoretical Physics in the Twentieth Century: A Memorial Volume to Wolfgang Pauli*, M. Fierz y V. F. Weisskopf (eds.) (Nueva York, 1960), pp. 22, 25-26. Gran parte de este artículo describe la crisis en la mecánica cuántica en los años inmediatamente anteriores a 1925.

existente. En otras ocasiones, el problema resiste incluso nuevos enfoques aparentemente radicales y entonces los científicos pueden llegar a la conclusión de que no se hallará una solución en el estado actual de su campo. El problema se etiqueta y se archiva para una futura generación con herramientas más desarrolladas. O bien, finalmente, y éste es el caso que más nos interesa aquí, una crisis puede terminar con el surgimiento de un nuevo candidato a paradigma y con la consiguiente batalla por su aceptación. Este último modo de clausurar el problema será tratado pormenorizadamente en los subsiguientes capítulos, pero hemos de anticipar ahora algo de lo que allí se dirá para completar estas consideraciones en torno a la evolución y anatomía del estado de crisis.

La transición de un paradigma en crisis a uno nuevo del que pueda surgir una nueva tradición de ciencia normal dista de ser un proceso acumulativo logrado mediante la articulación o extensión del paradigma viejo. Más bien es una reconstrucción del campo a partir de nuevos fundamentos, reconstrucción que cambia algunas de las generalizaciones teóricas más elementales del campo, así como muchos de sus métodos y aplicaciones ejemplares. Durante el periodo de transición habrá un traslape considerable pero nunca total entre los problemas que se pueden resolver con el viejo y con el nuevo paradigma, pero habrá también una diferencia en los modos de solucionarlos. Una vez consumada la transición, la profesión habrá cambiado su visión del campo, sus métodos y sus objetivos. Un historiador perceptivo, al considerar un caso clásico de reorientación de

una ciencia por cambio de paradigma, lo ha descrito recientemente como "coger el palo por el otro extremo", un proceso que entraña "el manejo del mismo haz de datos que antes, pero colocándolos en un nuevo sistema de relaciones mutuas al ponerlos en un marco distinto".[8] Otras personas que han notado este aspecto del avance científico han subrayado su semejanza con un cambio en la Gestalt visual: las manchas sobre el papel que antes se veían como un ave, se ven ahora como un antílope o viceversa.[9] Esta comparación puede llamar a error, pues los científicos no ven algo *como* otra cosa, sino que simplemente lo ven. Ya hemos examinado algunos de los problemas provocados por decir que Priestley vio el oxígeno como aire desflogistizado. Además el científico no conserva la libertad que tiene el sujeto de la Gestalt de pasar una y otra vez de un modo de ver al otro. Con todo, dado que el cambio de Gestalt es hoy día tan familiar, resulta un prototipo elemental, útil para describir lo que ocurre en un cambio paradigmático a gran escala.

Estas anticipaciones nos ayudarán a reconocer las crisis como preludios apropiados al surgimiento de teorías nuevas, especialmente dado que ya examinamos una versión a escala reducida del mismo proceso cuando nos ocupamos del surgimiento de los descubrimientos. Precisamente porque la creación de una nueva teoría rompe con una tradición de práctica científica e introduce otra nueva desarrollada con distintas reglas y en el seno de un universo del discurso diferente, lo más probable es que se produzca únicamente cuando se considera que la primera tradición se ha extraviado de manera lamentable. De todos modos, esta observación no es más que un preludio a la investigación del estado de crisis y, por desgracia, los interrogantes que plantea exigen más bien la especialidad del psicólogo que la del historiador. ¿Cómo es la investigación extraordinaria? ¿Cómo se vuelve legal la anomalía? ¿Cómo se conducen los científicos cuando sólo son conscientes de que algo va fundamentalmente mal en un nivel para el que su formación no los ha preparado? Estas preguntas exigen muchas más investigaciones, y no todas ellas han de ser de carácter histórico. Cuanto sigue será por necesidad más tentativo e incompleto que lo que se ha dicho anteriormente.

A menudo surge un paradigma, al menos embrionariamente, antes de que el desarrollo de la crisis haya ido muy lejos o antes de que haya sido identificada como tal. La obra de Lavoisier suministra un ejemplo al caso. Su nota sellada fue depositada en la Academia francesa menos de un año después del primer estudio concienzudo de las relaciones de peso en la teoría del flogisto y antes de que las publicaciones de Priestley hubiesen puesto de manifiesto la vasta extensión de la crisis en la química neumática. O también, las primeras noticias de Thomas Young sobre la teoría ondulatoria de la luz aparecieron en una fase muy temprana del desarrollo de la crisis en la óptica, la cual hubiera pasado casi desapercibida si no fuera porque, sin la ayuda de Young, se ha-

[8] Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science, 1300-1800* (Londres, 1949), pp. 1-7 [hay traducción española, *Los orígenes de la ciencia moderna*, Madrid, Taurus, 1958 y posteriores, pp. 13-21].

[9] Hanson, *Patterns of Discovery*, cap. I.

bía convertido en un escándalo científico internacional una década después de su primer escrito. En casos como éstos, lo único que se puede decir es que una falla menor del paradigma y la incipiente relajación de sus reglas de la ciencia normal bastaron para inducir en alguien una nueva manera de ver el campo. El proceso intermedio entre la primera sensación de la existencia de dificultades y el reconocimiento de una alternativa disponible ha de haber sido en gran medida inconsciente.

Con todo, en otros casos, como por ejemplo los de Copérnico, Einstein y la teoría nuclear contemporánea, transcurre un considerable lapso de tiempo entre el despertar de la conciencia de las fallas y el surgimiento de un nuevo paradigma. Cuando ocurre tal cosa, el historiador puede captar al menos algunos indicios de en qué consiste la ciencia extraordinaria. Al enfrentarse a una anomalía manifiestamente fundamental de la teoría, el primer intento del científico será a menudo el de aislarla con más precisión y estructurarla. Por más que sea ahora consciente de que las reglas de la ciencia normal no pueden ser plenamente correctas, las forzará todo lo posible aunque sólo sea para ver dónde y hasta qué punto pueden funcionar dentro del área en que se encuentra la dificultad. Simultáneamente buscará el modo de amplificar la falla, de hacerla más sobresaliente y tal vez también más sugerente de lo que había sido cuando lo pusieron de relieve los experimentos cuyos resultados se creían conocer de antemano. En este último esfuerzo, más que en ninguna otra parte del desarrollo posparadigmático de la ciencia, ofrecerá casi el aspecto de

nuestra imagen dominante de científico. En primer lugar, aparecerá a menudo como quien busca al azar, ensayando experimentos sencillamente para ver qué ocurre, buscando un efecto cuya naturaleza no puede entrever del todo. A la vez, dado que no se puede concebir ningún experimento sin algún tipo de teoría, durante la crisis el científico tratará constantemente de engendrar teorías especulativas que, de tener éxito, puedan descubrir el camino que conduzca a un nuevo paradigma y, de no tenerlo, puedan abandonarse con relativa facilidad.

La narración que hace Kepler de su prolongada lucha con el movimiento de Marte y la descripción que hace Priestley de su respuesta a la proliferación de nuevos gases ofrecen ejemplos clásicos del tipo más aleatorio de investigación producido por la conciencia de la anomalía.[10] Pero probablemente el mejor ejemplo de todos sea el de la investigación contemporánea en teoría de campos y en partículas fundamentales. En ausencia de una crisis que hiciera necesario ver hasta qué punto podrían forzarse las reglas de la ciencia normal, ¿se hubiera considerado que estaba justificado el inmenso esfuerzo preciso para detectar el neutrino? O, si las reglas no hubieran fracasado de una manera tan obvia en algún punto desconocido, ¿se hubiera sugerido o contrasta-

[10] Para una descripción del trabajo de Kepler sobre Marte, véase J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2ª ed., Nueva York, 1953), pp. 380-393. La presencia de algunas inexactitudes no impide que la monografía de Dreyer ofrezca el material aquí preciso. Para Priestley, véase su propia obra, especialmente *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (Londres, 1774-1775).

do la hipótesis radical de la no conservación de la paridad? Como muchas otras investigaciones físicas de la década pasada, estos experimentos fueron en parte intentos de localizar y definir la fuente de un conjunto aún difuso de anomalías.

Este tipo de investigación extraordinaria se ve a menudo acompañado por otro, aunque no siempre. Creo que, particularmente en periodos de crisis manifiesta, los científicos se entregan al análisis filosófico como instrumento para desbloquear los enigmas de su campo. En general los científicos ni precisan ni desean ser filósofos. Ciertamente la ciencia normal tiende a mantener a la filosofía creadora a buena distancia, y probablemente por buenas razones. En la medida en que el trabajo de la ciencia normal se puede llevar a cabo empleando el paradigma como modelo, las reglas y las suposiciones no necesitan explicitarse. Ya hemos señalado en el capítulo v que el conjunto completo de reglas que busca el análisis filosófico no tiene ni siquiera que existir. Mas eso no significa que la búsqueda de los supuestos (incluso de los que no existen) no pueda ser un modo efectivo de debilitar del peso de la tradición sobre el pensamiento, sugiriendo los fundamentos de otra nueva. No es un accidente que el surgimiento de la física newtoniana en el siglo xvii y el de la relatividad y la mecánica cuántica en el siglo xx se hayan visto ambos precedidos y acompañados por análisis filosóficos fundamentales de la tradición de investigación contemporánea.[11] Tampoco es un accidente que en ambos

[11] Para el contrapunto filosófico que acompañó a la mecánica del siglo xvii, véase René Dugas, *La mécanique au XVII^e*

periodos desempeñaran una función tan crítica en el progreso de la investigación los llamados experimentos mentales. Como he mostrado en otro lugar, la experimentación mental analítica que tanto lugar ocupa en los escritos de Galileo, Einstein, Bohr y otros, está perfectamente calculada para exponer el viejo paradigma al conocimiento existente, de tal manera que se aísle la raíz de la crisis con un claridad inalcanzable en el laboratorio.[12]

Con el despliegue de uno o de todos estos procedimientos extraordinarios puede ocurrir otra cosa. Al concentrar la atención científica en un área problemática limitada y al preparar la mente para el reconocimiento de anomalías experimentales con todo lo que significan, a menudo la crisis hace eclosionar nuevos descubrimientos. Ya hemos indicado de qué modo la conciencia de la crisis distingue el trabajo sobre el oxígeno de Lavoisier del de Priestley, y el oxígeno no era el único gas que los químicos conscientes de la anomalía fueron capaces de descubrir en la obra de Priestley. O también, se acumularon rápidamente nuevos descubrimientos ópticos justamente antes y durante el surgimiento de la teoría ondula-

siècle (Neuchâtel, 1954), especialmente el capítulo xi. Para el episodio similar del siglo xix, véase el libro anterior del mismo autor, *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), pp. 419-443.

[12] T. S. Kuhn, "A Function for Thought Experiments", en *Mélanges Alexandre Koyré*, editado por R. Taton y por I. B. Cohen, que publicará Hermann (París) en 1963. [El libro se publicó en el año 1964 con el título *L'aventure de la science, Mélanges Alexandre Koyré*, vol. II, pp. 307-334. En cualquier caso puede leerse ahora en el capítulo 10 de *La tensión esencial*, ya citada en la nota 2].

toria de la luz. Algunos, como la polarización por reflexión, fueron el resultado de los accidentes que hace probables la concentración del trabajo en un área problemática. (Malus, que fue su descubridor, estaba iniciando el trabajo de un ensayo para el premio de la Academia sobre la doble refracción, un tema que todo el mundo sabía que se encontraba en un estado insatisfactorio.) Otros, como la mancha de luz en el centro de la sombra de un disco circular, eran predicciones de la nueva hipótesis, cuyo éxito contribuyó a transformarla en un paradigma para el trabajo posterior. Y aún otros, como los colores de las ralladuras y las placas gruesas, eran efectos que se habían visto y señalado algunas veces con anterioridad, si bien, al modo del oxígeno de Priestley, se habían asimilado a efectos bien conocidos de tal manera que se impedía que se reconocieran como lo que realmente eran.[13] Se podría ofrecer una explicación similar de los descubrimientos múltiples que fueron, aproximadamente desde 1896, un acompañante constante del surgimiento de la mecánica cuántica.

La investigación extraordinaria puede tener aún otras manifestaciones y efectos, pero en esta área apenas hemos comenzado a descubrir las preguntas que deben plantearse. No obstante, quizá no se precise más en este punto. Las consideraciones precedentes deberían bastar para mostrar cómo las crisis a la vez relajan los estereotipos y suministran los nuevos datos necesarios para un cambio fundamental de paradigma. En ocasiones, la forma del nuevo paradigma está prefigurada en la estructura que la investigación extraordinaria ha dado a la anomalía. Einstein escribió que antes de disponer de un sustituto de la mecánica clásica, podía ver la interrelación entre las anomalías conocidas de la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y los calores específicos.[14] Lo más normal es que no se vea por adelantado de manera consciente semejante estructura. Por el contrario, el nuevo paradigma o una pista suficiente para permitir la articulación posterior surge de repente, a veces en medio de la noche, en la cabeza de la persona profundamente inmersa en la crisis. Aquí habrá de quedar como inescrutable, y tal vez siempre siga siendo así, cuál sea la naturaleza de este estadio final, de qué manera el individuo inventa, o descubre que ha inventado, un nuevo modo de conferir orden a los datos ahora unidos. Permítasenos señalar aquí tan sólo una cosa. Casi siempre las personas que han logrado estos inventos fundamentales de un paradigma nuevo, o bien han sido muy jóvenes, o bien han llegado muy recientemente al campo cuyo paradigma transforman.[15] Tal vez no hiciera

[13] Para los nuevos descubrimientos ópticos en general, véase V. Ronchi, *Histoire de la lumière* (París, 1956), cap. VII. Para la explicación anterior de uno de estos efectos, véase J. Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light and Colours* (Londres, 1772), pp. 498-520.

[14] Einstein, "Autobiographical Note".

[15] Esta generalización acerca del papel desempeñado por la juventud en la investigación científica fundamental es tan común que puede constituir un cliché. Además, a primera vista, casi cualquier lista de contribuciones fundamentales a las teorías científicas a la que echemos un vistazo, suministrará una confirmación de este extremo. No obstante, esta generalización está muy necesitada de una investigación sistemática. Harvey C. Lehman (*Age and Achievement* [Princeton, 1953]) suministra muchos datos útiles, pero sus estudios no tratan

falta señalar este punto de manera explícita, pues, como es obvio, se trata de personas que, al estar escasamente comprometidas por la práctica anterior con las reglas tradicionales de la ciencia normal, son particularmente proclives a darse cuenta de que tales reglas ya no definen un juego que se pueda practicar, y entonces crean otro conjunto que las pueda sustituir.

La transición resultante a un nuevo paradigma es una revolución científica, un tema que ya por fin estamos preparados para abordar directamente. No obstante, repárese antes en un último aspecto aparentemente elusivo para el que ha preparado el camino el material de los últimos tres capítulos. Hasta el capítulo VI, cuando se introdujo por vez primera el concepto de anomalía, las expresiones *revolución* y *ciencia extraordinaria* pueden haber parecido equivalentes. Y, lo que es más importante, ninguna de esas expresiones pueden haber parecido significar algo distinto de "ciencia no normal", circularidad que habrá molestado al menos a algunos lectores. En la práctica no tendría por qué ser así. Estamos a punto de descubrir que una circularidad semejante es característica de las teorías científicas. Con todo, molesta o no, dicha circularidad ya no es impropia. Este capítulo del ensayo y los dos precedentes han aportado numerosos criterios del fracaso en la actividad científica normal, criterios que no dependen en absoluto de que el fracaso sea sucedido por una revolución. Enfrentados a una anomalía o a una crisis, los científicos adoptan una actitud distinta hacia los paradigmas existentes y la naturaleza de su investigación cambia de modo correspondiente. La proliferación de articulaciones competitivas, el deseo de ensayar cualquier cosa, la expresión de descontento explícito, el recurso a la filosofía y al debate sobre cuestiones fundamentales, son todos ellos síntomas de la transición de la ciencia normal a la investigación extraordinaria. La noción de ciencia normal depende más de su existencia que de la de las revoluciones.

de elegir las contribuciones que entrañen cambios fundamentales en los conceptos. Tampoco investigan las circunstancias especiales, si las hay, que puedan acompañar a la productividad científica relativamente tardía.

IX. LA NATURALEZA Y LA NECESIDAD DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS

Estas reflexiones nos permiten al fin considerar los problemas que dan título a este ensayo. ¿Qué son las revoluciones científicas y cuál es la función que desempeñan en el desarrollo de la ciencia? La respuesta a estas preguntas se ha anticipado ya en gran medida en las secciones anteriores. Concretamente, la discusión precedente ha puesto de manifiesto que aquí consideramos como revoluciones científicas aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en los que un paradigma antiguo se ve sustituido en todo o en parte por otro nuevo incompatible con él. No obstante, eso no es todo y una parte esencial de lo que resta se puede introducir planteando otra pregunta. ¿Por qué habríamos de llamar revolución a un cambio de paradigma? A la vista de las enormes diferencias esenciales que median entre el desarrollo político y el desarrollo científico, ¿qué paralelismo puede justificar la metáfora que encuentra revoluciones en ambos?

Un aspecto del paralelismo ha que ser ya manifiesto. Las revoluciones políticas comienzan con la creciente sensación, a menudo restringida a un segmento de la comunidad política, de que las instituciones existentes han dejado de abordar adecuadamente los problemas planteados por un medio que ellas mismas han creado en parte. De manera muy similar, las revoluciones científicas

se inician por una sensación creciente, de nuevo restringida a menudo a una pequeña subdivisión de la comunidad científica, de que el paradigma existente ha dejado de funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza hacia el que había conducido previamente el propio paradigma. Tanto en el desarrollo político como en el científico la sensación de que las cosas funcionan mal, que puede conducir a una crisis, es el requisito previo de la revolución. Además, aunque hay que admitir que ello fuerza la metáfora, dicho paralelismo sirve no sólo para los cambios paradigmáticos importantes, como los imputables a Copérnico y a Lavoisier, sino también para los mucho menores asociados a la asimilación de un nuevo tipo de fenómeno, como el oxígeno o los rayos X. *Las revoluciones científicas*, como hemos señalado al final del capítulo v, sólo tienen que parecer revolucionarias a aquellos cuyos paradigmas se ven afectados por ellas. Para los extraños pueden parecer elementos normales del proceso de desarrollo, como las revoluciones balcánicas en los albores del siglo xx. Así por ejemplo, los astrónomos podrían aceptar los rayos X como un mero añadido al conocimiento, dado que sus paradigmas no se veían afectados por la existencia de la nueva radiación. Sin embargo, para personas como Kelvin, Crookes y Roentgen, cuyas investigaciones trataban con la teoría de la radiación o con tubos de rayos catódicos, la aparición de los rayos X violaba necesariamente un paradigma a la vez que creaba otro. Ésa es la razón por la cual dichos rayos sólo se podrían descubrir si algo iba mal antes en la investigación normal.

Este aspecto genético del paralelismo entre el desarrollo político y el científico ya no debería prestarse a dudas. Con todo, el paralelismo posee un segundo aspecto más profundo del que depende la importancia del primero. Las revoluciones políticas tienen como objetivo modificar las instituciones políticas por caminos que esas mismas instituciones prohíben. Por tanto, su éxito precisa el abandono parcial de un conjunto de instituciones en favor de otro, y entretanto la sociedad no está en absoluto plenamente gobernada por instituciones. Al comienzo, sólo la crisis atenúa la función de las instituciones políticas, tal como ya hemos visto que atenúa la función de los paradigmas. Un número creciente de individuos se encuentra progresivamente enajenado de la vida política, conduciéndose en ella de modos cada vez más insólitos. Después, conforme la crisis se hace más profunda, muchas de esas personas se comprometen con algún proyecto concreto para la reconstrucción de la sociedad en un nuevo marco institucional. En este punto, la sociedad está dividida en campos o partidos enfrentados, uno de los cuales trata de defender la vieja constelación institucional, mientras que otros buscan instituir una nueva. Y, una vez que se ha producido la polarización, el *procedimiento político falla*. Ya que difieren acerca de la matriz institucional en la que se ha de producir y evaluar el cambio político, ya que no reconocen un marco suprainstitucional para dirimir las diferencias revolucionarias, los partidos de un conflicto revolucionario han de apelar finalmente a las técnicas de persuasión de masas, incluyendo a menudo la fuerza. Aunque las revoluciones han desempeñado una función vital en la evolución de las instituciones políticas, esa función depende de que sean acontecimientos parcialmente extrapolíticos o extrainstitucionales.

Lo que resta de este ensayo se orienta a demostrar que el estudio histórico del cambio paradigmático muestra unas características muy similares en la evolución de las ciencias. Al igual que la elección entre instituciones políticas enfrentadas, la que se da entre paradigmas rivales resulta ser una elección entre modos incompatibles de vida comunitaria. Dado que posee este carácter, la elección no está determinada ni puede estarlo tan sólo merced a los procedimientos de evaluación característicos de la ciencia normal, pues éstos dependen en parte de un paradigma particular, y tal paradigma está en entredicho. Cuando los paradigmas entran, como es necesario que ocurra, en el debate acerca de la elección de paradigma, su función es necesariamente circular. Cada grupo utiliza su propio paradigma para argumentar en defensa de dicho paradigma.

Por supuesto, la circularidad resultante no hace que los argumentos sean incorrectos o incluso inefectivos. La persona que utiliza como premisa un paradigma cuando argumenta en su defensa, no obstante puede mostrar con claridad cómo será la práctica científica para aquellos que adopten la nueva visión de la naturaleza. Dicha exhibición puede ser tremendamente persuasiva, a menudo totalmente convincente. Con todo, sea cual sea su fuerza, la naturaleza del argumento circular es tan sólo la de persuadir. No puede ser lógica o incluso probabilísticamente convincente para quienes se niegan a entrar en el círculo. Las premisas y los valores compartidos por las dos

partes de un debate acerca de los paradigmas no son lo bastante generales para ello. Como en las revoluciones políticas, en la elección de paradigma no hay una norma superior al consenso de la comunidad pertinente. Por tanto, para descubrir cómo terminan las revoluciones científicas, habremos de examinar no sólo el impacto de la naturaleza y de la lógica, sino también las técnicas de argumentación persuasiva que resultan eficaces dentro de los grupos muy especiales que constituyen la comunidad de científicos.

Para descubrir por qué el resultado de la elección de paradigma nunca se puede decidir inequívocamente sólo mediante la lógica y la experimentación, habremos de examinar brevemente la naturaleza de las diferencias que separan a los partidarios de un paradigma tradicional de sus sucesores revolucionarios. Tal examen constituirá el tema principal de este capítulo y del siguiente. Con todo, ya hemos señalado numerosos ejemplos de tales diferencias y nadie dudará de que la historia puede ofrecer muchos otros. Lo más probable no es que se dude de su existencia, sino de si tales ejemplos suministran información esencial acerca de la naturaleza de la ciencia, y por lo tanto habríamos de empezar considerando esta cuestión en primer lugar. Concediendo que el rechazo paradigmático haya sido un hecho histórico, ¿muestra algo más que la credulidad y confusión humanas? ¿Hay razones intrínsecas para que la asimilación de un nuevo tipo de fenómeno o de una nueva teoría científica hayan de exigir el rechazo de un paradigma previo?

Nótese para empezar que, si existen tales razones, no derivan de la estructura lógica del conocimiento científico. En principio, podría surgir un nuevo fenómeno sin chocar destructivamente con ninguna parte de la práctica científica pasada. Si bien el descubrimiento de la vida en la Luna destruiría hoy día paradigmas existentes (los que nos dicen cosas de la Luna que parecen incompatibles con la existencia de vida en ella), no ocurriría lo mismo en caso de descubrir vida en algún lugar menos conocido de la galaxia. Por la misma razón, una teoría nueva no tiene por qué entrar en conflicto con ninguna de sus predecesoras. Podría ocuparse exclusivamente de fenómenos antes desconocidos, al modo en que la teoría cuántica trata (aunque, y esto es significativo, no de forma exclusiva) de fenómenos subatómicos desconocidos antes del siglo XX. O también, la nueva teoría podría ser sencillamente una teoría de nivel superior al de las conocidas anteriormente, teoría que ligaría a todo un grupo de teorías de nivel inferior sin modificar ninguna de ellas de modo sustancial. Hoy en día, la teoría de la conservación de la energía suministra uno de esos nexos entre la dinámica, la química, la electricidad, la óptica, la teoría térmica, etc. Se pueden imaginar otras relaciones de compatibilidad entre las teorías viejas y las nuevas. Todas y cada una de ellas se podrían ejemplificar mediante los procesos históricos a través de los cuales ha avanzado la ciencia. Si fuese así, el desarrollo científico sería auténticamente acumulativo. Los nuevos tipos de fenómenos se limitarían a mostrar la existencia de orden en un aspecto de la naturaleza en el que antes no se había visto. En la evolución de la ciencia, el conocimiento nuevo sustituiría a la ignorancia más bien que al conocimiento incompatible de otro tipo.

Por supuesto, la ciencia (u otra empresa, tal vez menos efectiva) podría haberse desarrollado de este modo completamente acumulativo. Muchas personas han pensado que así era, y la mayoría aún parecen suponer que la acumulación es al menos el ideal que el desarrollo histórico habría de mostrar si no se hubiese visto distorsionado tan a menudo por la idiosincrasia humana. Hay razones importantes para tal creencia. En el capítulo x, descubriremos cuán firmemente imbricada está la concepción de la ciencia como acumulación con una epistemología dominante que considera el conocimiento como una construcción erigida por la mente directamente sobre datos brutos de los sentidos. Y en el capítulo xi, examinaremos el enorme apoyo que recibe el mismo esquema historiográfico por parte de las técnicas efectivas de la enseñanza de la ciencia. Con todo, a pesar de la inmensa plausibilidad de esa imagen ideal, hay razones crecientes para preguntarse si realmente puede constituir una imagen de la *ciencia*. Tras el periodo preparadigmático, la asimilación de todas las teorías nuevas y de casi todos los tipos nuevos de fenómenos ha exigido de hecho la destrucción de un paradigma previo y el consiguiente conflicto entre escuelas rivales de pensamiento científico. La adquisición acumulativa de novedades no previstas resulta ser una excepción casi inexistente a lo que es la regla en el desarrollo científico. Quien tome en serio los hechos históricos ha de sospechar que la ciencia no tiende al ideal sugerido por nuestra imagen de su carácter acumulativo. Tal vez se trate de otro tipo de empresa.

Sin embargo, si los hechos resistentes pueden

llevarnos hasta este punto, entonces un segundo vistazo al terreno que ya hemos cubierto podrá sugerir que la adquisición acumulativa de novedades no es ya de hecho que sea rara, sino que en principio resulta improbable. La investigación normal, que *es* acumulativa, debe su éxito a la capacidad de los científicos para seleccionar sistemáticamente problemas que se pueden resolver con técnicas conceptuales e instrumentales próximas a las ya existentes. (Por esa razón una preocupación excesiva por los problemas útiles, al margen de su relación con las técnicas de conocimiento existente, puede inhibir con mucha facilidad el desarrollo científico.) No obstante, la persona que trata de resolver un problema definido por las técnicas y el conocimiento existentes no se limita a buscar por ahí. Sabe qué es lo que quiere conseguir, y diseña sus instrumentos y orienta sus pensamientos de acuerdo con ello. Una novedad inesperada, un descubrimiento nuevo, sólo podrá surgir en la medida en que sus expectativas acerca de la naturaleza y su instrumental resulten estar equivocados. A menudo la importancia del descubrimiento consiguiente será proporcional a la extensión y carácter recalcitrante de la anomalía que lo presagió. Así pues, como es obvio, ha de haber un conflicto entre el paradigma que revela la anomalía y el que más tarde vuelve legal dicha anomalía. Los ejemplos de descubrimiento mediante destrucción de paradigma examinados en el capítulo vi no se limitaron a presentarnos un mero accidente histórico. No hay otro modo efectivo con el que se puedan generar los descubrimientos.

El mismo argumento se aplica con mayor cla-

ridad aún a la elección de teorías nuevas. En principio sólo hay tres tipos de fenómenos sobre los que se podría desarrollar una teoría nueva. El primero consta de fenómenos ya bien explicados por paradigmas existentes, los cuales rara vez suministran un motivo o un punto de partida para la construcción teórica. Cuando lo hacen, como ocurrió con las tres famosas anticipaciones señaladas al final del capítulo VII, las teorías resultantes rara vez se aceptan, dado que la naturaleza no ofrece fundamentos para la discriminación. Una segunda clase de fenómenos consta de aquellos cuya naturaleza está marcada por el paradigma existente, aunque los detalles sólo se pueden comprender mediante una ulterior articulación teórica. Ésos son los fenómenos sobre los que investigan los científicos la mayor parte del tiempo; pero dicha investigación se dirige a la articulación de los paradigmas existentes más bien que a la invención de otros nuevos. Sólo cuando fallan estos intentos de articulación, se topan los científicos con el tercer tipo de fenómenos, las anomalías reconocidas, cuyo rasgo característico es su obstinada negativa a dejarse asimilar por el paradigma existente. Sólo este último tipo da lugar a nuevas teorías. Los paradigmas otorgan a todos los fenómenos, excepto a las anomalías, un lugar en el campo de visión del científico determinado por la teoría.

Pero si se formulan nuevas teorías para resolver las anomalías en la relación entre una teoría existente y la naturaleza, entonces la nueva teoría de éxito ha de ofrecer en algún lugar predicciones que sean distintas de las derivadas de su predecesora. Tal diferencia no podría darse si ambas

fueran lógicamente compatibles. En el proceso de su asimilación, la segunda ha de desplazar a la primera. Incluso una teoría como la de la conservación de la energía, que hoy día se antoja una superestructura que sólo se relaciona con la naturaleza a través de teorías establecidas independientemente, no se desarrolló históricamente sin destrucción de paradigmas. Por el contrario, surgió de una crisis, uno de cuyos ingredientes esenciales era la incompatibilidad entre la dinámica newtoniana y algunas consecuencias recientemente formuladas de la teoría del calórico. La conservación de la energía sólo pudo entrar a formar parte de la ciencia una vez que se hubo rechazado la teoría del calórico.[1] Y sólo después de haber formado parte de la ciencia durante algún tiempo, pudo llegar a parecer una teoría de tipo lógicamente superior que no entraba en conflicto con sus predecesoras. Resulta difícil concebir cómo podrían surgir las teorías nuevas sin estos cambios destructivos en las creencias acerca de la naturaleza. Aunque la inclusión lógica sigue siendo una manera permisible de ver las relaciones entre teorías científicas sucesivas, resulta históricamente implausible.

Hace un siglo, creo que hubiera sido posible dejar en este punto la defensa de la necesidad de las revoluciones. Sin embargo, desgraciadamente hoy en día no es posible hacerlo, dado que la posición sobre el tema desarrollada más arriba resulta insostenible si se acepta la interpretación contemporánea más extendida acerca de la natu-

[1] Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (Londres, 1910), I, pp. 266-281.

raleza y función de las teorías científicas. Dicha interpretación, muy ligada al primitivo positivismo lógico y que no ha sido rechazada categóricamente por sus sucesores, limitaría el alcance y el significado de una teoría aceptada para que no tuviera la posibilidad de entrar en conflicto con una teoría posterior que hiciera predicciones acerca de algunos de los mismos fenómenos naturales. El caso mejor conocido y más potente a favor de esta concepción restringida de las teorías científicas está sacado de la discusión sobre la relación entre la dinámica contemporánea de Einstein y las viejas ecuaciones dinámicas que han derivado de los *Principios* de Newton. Desde la perspectiva de este ensayo, ambas teorías son fundamentalmente incompatibles en el mismo sentido ejemplificado por la relación entre la astronomía copernicana y la tolemaica. En efecto, la teoría de Einstein sólo se puede aceptar si se reconoce que la de Newton estaba equivocada. Hoy en día este punto de vista sigue siendo minoritario.[2] Por consiguiente, habremos de examinar las objeciones más comunes.

El meollo de tales objeciones puede exponerse como sigue. La mecánica relativista no puede haber mostrado que la dinámica newtoniana estaba equivocada porque la mayoría de los ingenieros todavía usa la mecánica newtoniana con mucho éxito e incluso muchos físicos aún la emplean en algunas aplicaciones determinadas. Además, la adecuación de este uso de la vieja teoría se puede demostrar a partir de la misma teoría que la ha

[2] Véanse, por ejemplo, las consideraciones de P. P. Wiener en *Philosophy of Science*, XXV (1958), p. 298.

sustituido en otras aplicaciones. La teoría de Einstein puede emplearse para mostrar que las predicciones de las ecuaciones de Newton serán tan precisas como exijan nuestros aparatos de medida en todas las aplicaciones que satisfagan un pequeño número de condiciones restrictivas. Por ejemplo, para que la teoría newtoniana suministre una buena solución aproximada, las velocidades relativas de los cuerpos implicados han de ser pequeñas comparadas con la de la luz. En esta y en otras cuantas condiciones, la teoría newtoniana parece poderse derivar de la de Einstein, de la que por tanto constituye un caso especial.

Mas, prosigue la objeción, ninguna teoría puede entrar en conflicto con uno de sus casos particulares, y si la ciencia de Einstein parece volver falsa la dinámica newtoniana, ello se debe tan sólo a que algunos newtonianos fueron lo bastante imprudentes como para pretender que la teoría de Newton ofrecía resultados totalmente precisos o que era válida a velocidades relativas muy elevadas. Dado que no tenían el menor elemento de juicio para pretender tales cosas, al hacerlo traicionaron las normas de la ciencia. En la medida en que la teoría newtoniana fue en alguna ocasión una teoría científica verdadera apoyada por elementos de juicio válidos, en esa misma medida lo sigue siendo. Einstein sólo pudo mostrar que eran erróneas las pretensiones extravagantes de la teoría, pretensiones que nunca formaron parte propiamente de la ciencia. Una vez purgada de tales extravagancias puramente humanas, la teoría newtoniana nunca ha sido puesta en entredicho y nunca podrá serlo.

Una variante de este argumento basta para volver inmune al ataque a cualquier teoría jamás usada por un grupo significativo de científicos competentes. La tan denostada teoría del flogisto, por ejemplo, confirió orden a un gran número de fenómenos físicos y químicos. Explicaba por qué arden los cuerpos (eran ricos en flogisto) y por qué los metales tenían entre sí muchas más propiedades en común que sus minerales. En efecto, los metales eran todos ellos compuestos de distintas tierras elementales combinadas con flogisto y este último, común a todos los metales, producía sus propiedades comunes. Además, la teoría del flogisto daba cuenta de algunas reacciones en las cuales se formaban ácidos por combustión de sustancias como carbono y azufre. Explicaba también la disminución de volumen cuando la combustión se produce en un volumen cerrado de aire. La razón es que el flogisto emitido por la combustión "arruina" la elasticidad del aire que lo absorbe, a la manera en que el fuego "arruina" la elasticidad de un resorte de acero.[3] Si fuesen esos los únicos fenómenos a los que los teóricos del flogisto aplicaran su teoría, ésta nunca hubiera sido puesta en tela de juicio. Se puede aplicar un argumento similar a cualquier teoría que haya tenido éxito alguna vez aplicada a cualquier conjunto de fenómenos.

[3] James B. Conant, *Overthrow of the Phlogiston Theory* pp. 13-16; y J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, pp. 85-88 [hay traducción española, *Historia de la química*, Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1945; véase el final del cap. v]. La exposición más completa y completa de los logros de la teoría del flogisto se debe a H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (París, 1930), Parte II.

Sin embargo, para salvar las teorías de esta manera, ha de restringirse su rango de aplicación a aquellos fenómenos y a aquel nivel de precisión observacional con los que ya tratan las pruebas experimentales disponibles.[4] Si se llevan las cosas un paso más allá, lo que es inevitable una vez que se ha llegado a este punto, tal limitación prohíbe que un científico pretenda hablar "científicamente" acerca de cualquier fenómeno aún no observado. Incluso en su forma actual, la restricción le prohíbe al científico basarse en una teoría en su propio campo de investigación cada vez que su investigación penetre en un terreno o busque un grado de precisión para el que la práctica pasada sustentada en dicha teoría no ofrezca precedente. Estas prohibiciones resultan lógicamente inobjetables; pero el hecho de aceptarlas significaría el fin de la investigación mediante la que la ciencia continúa progresando.

A estas alturas, esta observación es también prácticamente una tautología. Sin el compromiso con un paradigma no podría haber ciencia normal. Además dicho compromiso ha de extenderse a áreas y grados de precisión para los que no hay un antecedente pleno. Si no fuese así, el paradigma no podría suministrar rompecabezas que no hubieran sido ya resueltos. Aparte de ello, no sólo la ciencia normal depende del compromiso con un paradigma, pues si la teoría existente limitara al científico tan sólo a las aplicaciones

[4] Confróntense las conclusiones alcanzadas mediante un tipo muy distinto de análisis por R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge, 1953), pp. 50-89, esp. p. 76 [hay traducción española, *La explicación científica*, Madrid, Tecnos, 1964; véase el cap. III, pp. 67-105, esp. p. 93].

existentes, entonces no podría haber sorpresas, anomalías y crisis. Pero éstas son las señales que indican el camino hacia la ciencia extraordinaria. Si las restricciones positivistas sobre el rango de la aplicabilidad legítima de la teoría se tomasen al pie de la letra, dejarían de funcionar los mecanismos que le dicen a la comunidad científica qué problemas pueden conducir a un cambio fundamental. Y si tal cosa ocurre, la comunidad retornará inevitablemente a algo muy similar a su estado preparadigmático, situación en la que todos los miembros practican la ciencia, si bien su producto neto no se parece gran cosa a la ciencia. ¿Es realmente de extrañar que el precio del avance científico importante sea un compromiso que corre el riesgo de estar equivocado?

Y lo que es más importante, en el argumento positivista hay una laguna lógica reveladora que nos reintroducirá inmediatamente en la naturaleza del cambio revolucionario. ¿Se puede *derivar* realmente la dinámica newtoniana de la dinámica relativista? ¿Cómo sería tal derivación? Imaginemos un conjunto de enunciados $E_1, E_2, E_3, \ldots, E_n$, tal que todos juntos incorporen las leyes de la teoría de la relatividad. Estos enunciados contienen variables y parámetros que representan la posición espacial, el tiempo, la masa en reposo, etc. De ellos, junto con el aparato lógico y matemático, se puede deducir todo un conjunto de otros enunciados, incluyendo algunos que se pueden contrastar por observación. Para probar la adecuación de la dinámica newtoniana como un caso especial, hemos de añadir a los E_i otros enunciados adicionales, como $(v/c)^2 << 1$, que restringen el rango de los parámetros y las variables. Este conjunto ampliado de enunciados se manipula entonces para que den un nuevo conjunto, $N_1, N_2, N_3, \ldots, N_n$, con una forma idéntica a las leyes del movimiento de Newton, a la ley de la gravedad y demás. Aparentemente se ha derivado la dinámica newtoniana de la de Einstein, sometida a unas cuantas condiciones límite.

Con todo, la derivación es espuria, al menos en este punto. Por más que los N_i sean un caso especial de las leyes de la mecánica relativista, no son las leyes de Newton. O al menos no lo son, si no se reinterpretan dichas leyes de un modo que hubiera resultado imposible antes de la obra de Einstein. Las variables y parámetros que representan en los E_i la posición espacial, el tiempo, la masa, etc. siguen apareciendo en los N_i; y siguen representando el espacio, el tiempo y la masa einsteinianos. Pero los referentes físicos de esos conceptos einsteinianos no son en absoluto idénticos a los de los conceptos newtonianos que llevan el mismo nombre. (La masa de Newton se conserva, mientras que la de Einstein es convertible con la energía. Sólo a velocidades relativas bajas se pueden medir ambas del mismo modo, e incluso entonces no se debe considerar que sean lo mismo.) A menos que cambiemos las definiciones de las variables de los N_i, los enunciados que hemos derivado no son los newtonianos. Si las cambiamos, no podemos decir con propiedad que hayamos *derivado* las leyes de Newton, al menos no en ningún sentido de *derivar* actualmente aceptado por todo el mundo. Por supuesto, el argumento ha explicado por qué durante algún tiempo las leyes de Newton parecieron funcionar. Con ello ha justificado, digamos, que un

conductor de automóvil actúe como si viviese en un universo newtoniano. Se emplea un argumento de tipo similar para justificar que se enseñe a los topógrafos una astronomía centrada en la Tierra. Mas el argumento no ha conseguido aún lo que pretendía. Esto es, no ha logrado mostrar que las leyes de Newton sean un caso límite de las de Einstein, pues en el paso al límite no sólo han cambiado las formas de las leyes, sino que hemos de alterar al mismo tiempo los elementos estructurales fundamentales de que se compone el universo al que se aplican.

Esta necesidad de cambiar el significado de los conceptos familiares y establecidos resulta central para el impacto revolucionario de la teoría de Einstein. Aunque fuesen más sutiles que los cambios que mediaron entre el geocentrismo y el heliocentrismo, entre el flogisto y el oxígeno o entre los corpúsculos y las ondas, la transformación conceptual no resultó menos decisivamente destructiva del paradigma anteriormente establecido. Incluso podemos llegar a considerarla como el prototipo de la reorientación revolucionaria en las ciencias. Precisamente porque no entrañó la introducción de fenómenos o conceptos adicionales, la transición de la mecánica newtoniana a la mecánica einsteiniana ilustra con particular claridad el carácter de la revolución científica como un desplazamiento de la red conceptual a través de la cual el científico ve el mundo.

Estas observaciones deberían bastar para mostrar lo que en otro clima filosófico se hubiera dado por supuesto. Al menos para los científicos, resulta real la mayoría de las diferencias manifiestas entre una teoría científica rechazada y su sucesora. Por más que una teoría pasada de moda pueda presentarse siempre como un caso especial de su sucesora actual, es preciso transformarla para tal fin, y además la transformación sólo puede llevarse a cabo beneficiándose de saber qué es lo que ha pasado luego; esto es, con la guía explícita de la teoría más reciente. Además, aun cuando dicha transformación fuese un instrumento legítimo para la interpretación de la teoría antigua, el resultado de su aplicación sería una teoría tan restringida que sólo podría repetir lo ya sabido. Debido a su economía, esa repetición tendría utilidad, pero no bastaría para guiar la investigación.

Por tanto, demos por supuesto ahora que las diferencias entre paradigmas sucesivos son tan necesarias como irreconciliables. ¿Acaso podemos señalar de manera más explícita de qué tipo de diferencias se trata? El tipo más visible ya se ha ilustrado repetidamente. Los paradigmas sucesivos nos dicen cosas distintas acerca de la población del universo, así como acerca del comportamiento de esa población. Esto es, difieren acerca de cuestiones tales como la existencia de partículas subatómicas, la materialidad de la luz y la conservación del calor o de la energía. Estas son las diferencias sustantivas que median entre los paradigmas sucesivos, y no precisan más ilustración. Sin embargo, los paradigmas difieren en otras cosas aparte de la sustancia, pues no sólo se dirigen a la naturaleza, sino que también inciden sobre la ciencia que los produce. Son la fuente de los métodos, los problemas del campo y de las normas de solución aceptadas por cualquier comunidad científica madura en cualquier momen-

to dado. Como resultado de ello, la recepción de un nuevo paradigma exige a menudo la redefinición de la ciencia correspondiente. Algunos de los viejos problemas pueden verse relegados a otra ciencia o pueden ser declarados totalmente "acientíficos". Otros, que antes ni existían o eran triviales, pueden convertirse con el nuevo paradigma en el arquetipo mismo de los logros científicos importantes. Y a medida que cambian los problemas, cambian también las normas que distinguen una solución científica real de una mera especulación metafísica, un juego de palabras o un pasatiempo matemático. La tradición científica normal que surge de una revolución científica no sólo es incompatible con lo anterior, sino que a menudo resulta de hecho inconmensurable.

El impacto del trabajo de Newton sobre la tradición normal en la práctica científica del siglo XVII suministra un ejemplo sorprendente de estos efectos más sutiles del cambio de paradigma. Antes de que Newton naciera, la "nueva ciencia" del siglo había logrado al fin rechazar las explicaciones aristotélicas y escolásticas expresadas en términos de las esencias de los cuerpos naturales. Decir que una piedra cae porque su "naturaleza" la lleva hacia el centro del universo empezó a tenerse por un mero juego tautológico de palabras, cosa que no se había dado antes. A partir de entonces, todo el flujo de las apariencias sensoriales, incluyendo el color, el sabor e incluso el peso, habría de explicarse en términos de tamaño, forma, posición y movimiento de los corpúsculos elementales de la materia básica. Atribuir otras cualidades a los átomos elementales era recurrir a lo oculto y por ende era salirse de los límites de

la ciencia. Molière captó el nuevo espíritu adecuadamente cuando ridiculizó al doctor que explicaba la eficacia soporífera del opio atribuyéndola a una virtud dormitiva. A lo largo de la segunda mitad del siglo XVII, muchos científicos preferían decir que la forma redondeada de las partículas de opio les permitía calmar los nervios en torno a los cuales se movían.[5]

En un periodo anterior, las explicaciones en términos de cualidades ocultas habían formado parte integral del trabajo científico productivo. No obstante, el nuevo compromiso del siglo XVII con la explicación mecánico-corpuscular resultó enormemente fecundo para algunas ciencias, librándolas de problemas que habían desafiado cualquier solución aceptable para todo el mundo y sugiriendo sustituirlos por otros. Así por ejemplo, en la dinámica, las tres leyes del movimiento de Newton no son tanto el resultado de experimentos nuevos cuanto del intento de reinterpretar observaciones de sobra conocidas en términos de los movimientos e interacciones de corpúsculos neutros primarios. Consideremos un ejemplo concreto. Dado que los corpúsculos neutrales sólo podrían actuar mutuamente por contacto, el punto de vista mecánico-corpuscular de la naturaleza orientó la atención científica hacia un tema de estudio nuevo: la alteración del movimiento de las partículas por choque. Descartes llamó la atención sobre el problema y ofreció la primera solución tentativa. Huygens, Wren y Wallis continua-

[5] Para el corpuscularismo en general, véase Marie Boas, "The Establishment of the Mechanical Philosophy", *Osiris*, X (1952), pp. 412-541. Para el efecto de la forma de las partículas sobre el sabor, véase *ibidem*, p. 483.

ron con él, experimentando en parte con choques de péndulos, aunque principalmente mediante la aplicación al nuevo problema de características del movimiento anteriormente bien conocidas. Finalmente, Newton englobó sus resultados en sus leyes del movimiento. La "acción" y la "reacción" iguales de la tercera ley son los cambios en la cantidad de movimiento experimentadas por las dos partes en una colisión. El mismo cambio de movimiento suministra la definición de la fuerza dinámica implícita en la segunda ley. En este caso, como en muchos otros durante el siglo XVII, el paradigma corpuscular engendró tanto un nuevo problema como una buena parte de la solución de dicho problema.[6]

Sin embargo, aunque gran parte de la obra de Newton se orientaba a problemas e incorporaba normas derivados de la visión del mundo mecánico-corpuscular, el efecto del paradigma resultante de su obra fue un cambio ulterior y parcialmente destructivo de los problemas y normas legítimos para la ciencia. La gravedad, interpretada como una atracción innata entre todo par de partículas de materia, era una cualidad oculta en el mismo sentido en que lo había sido la "tendencia a caer" de los escolásticos. Por tanto, mientras que las normas del corpuscularismo permanecieron vigentes, la búsqueda de una explicación mecánica de la gravedad fue uno de los problemas más provocativos para quienes aceptaban los *Principios* como paradigma. Newton le dedicó mucha atención, y lo mismo hicieron muchos de sus

[6] R. Dugas, *La mécanique au XVII^e siècle* (Neuchâtel, 1954), pp. 177-185, 284-298, 345-356.

seguidores en el siglo XVIII. Aparentemente la única salida era rechazar la teoría de Newton por su fracaso a la hora de explicar la gravedad, y también esta alternativa fue ampliamente adoptada. Con todo, ninguna de estas opiniones terminó triunfando. Incapaces ora de practicar la ciencia sin los *Principios*, ora de hacer que dicho trabajo se plegara a las normas corpuscularistas del siglo XVII, paulatinamente los científicos aceptaron la opinión de que la gravedad era ciertamente innata. A mediados del siglo XVIII dicha interpretación había sido casi universalmente aceptada, siendo el resultado de ello una genuina vuelta (que no es lo mismo que regresión) a una norma escolástica. Las atracciones y las repulsiones innatas se unieron al tamaño, forma, posición y movimiento como propiedades físicas irreductiblemente primarias de la materia.[7]

El consiguiente cambio en las normas y en los problemas del campo de la física resultó una vez más de gran alcance. Para los años de la década de 1740, por ejemplo, los electricistas podían hablar de la "virtud" atractiva del fluido eléctrico sin desencadenar por ello la burla con que había sido recibido el doctor de Molière un siglo antes. Al proceder de este modo, los efectos eléctricos comenzaron a presentar progresivamente un orden distinto del que habían mostrado cuando se veían como efectos de un efluvio mecánico que sólo podía actuar por contacto. En particular, cuando la acción eléctrica a distancia se convirtió en un tema de estudio por derecho propio, los fenómenos que hoy denominamos carga por in-

[7] I. B. Cohen, *Franklin and Newton*, caps. VI-VII.

ducción pudieron empezar a reconocerse como uno de sus efectos. Anteriormente, en caso de ser percibidos, se habían atribuido a la acción directa de "atmósferas" eléctricas o a las fugas inevitables en cualquier laboratorio eléctrico. La nueva manera de ver los efectos de inducción resultó a su vez la clave para el análisis que hizo Franklin de la botella de Leyden, y por tanto para el surgimiento de un nuevo paradigma de carácter newtoniano para la electricidad. La dinámica y la electricidad no fueron los únicos dominios científicos afectados por la legitimización de la búsqueda de fuerzas innatas a la materia. También deriva de este aspecto supramecánico del newtonianismo la gran cantidad de escritos del siglo XVIII sobre las afinidades químicas y las series de sustitución. Los químicos que creían en estas diferencias de las atracciones entre las diversas especies químicas planearon experimentos antes inimaginables y buscaron nuevos tipos de reacciones. Sin los datos y conceptos químicos desarrollados en este proceso, el trabajo posterior de Lavoisier, y más especialmente el de Dalton, hubiera sido incomprensible.[8] Los cambios en las normas que rigen los problemas, conceptos y explicaciones permisibles pueden transformar la ciencia. En el capítulo siguiente incluso sugeriré que en cierto sentido transforman el mundo.

Se pueden extraer otros ejemplos de estas diferencias no sustantivas entre paradigmas sucesivos de la historia de cualquier ciencia en casi cualquier periodo de su desarrollo. Por el momento,

[8] Para la electricidad, véase *ibidem*, caps. VIII-IX, y para la química, véase Metzger, *Newton, Sthal, Boerhaave*, Parte I.

contentémonos tan sólo con otros dos ejemplos mucho más breves. Antes de la revolución química, una de las tareas reconocidas de la química era explicar las cualidades de las sustancias químicas y los cambios que sufrían dichas cualidades durante las reacciones químicas. Con ayuda de unos cuantos "principios" elementales, uno de los cuales era el flogisto, el químico debía explicar por qué algunas sustancias son ácidas, otras metálicas, otras combustibles y demás. Se consiguieron algunos éxitos en esta línea, pues ya hemos señalado que el flogisto explicaba por qué eran tan semejantes todos los metales y podríamos haber hecho algo parecido con los ácidos. Con todo, la reforma de Lavoisier terminó barriendo los "principios" químicos, con lo que terminó por despojar a la química de una capacidad explicativa real y llena de posibilidades. Se necesitaba un cambio de normas para compensar esta pérdida. Durante gran parte del siglo XIX, la incapacidad de explicar las cualidades de los compuestos no iba en detrimento de las teorías químicas.[9]

Asimismo, una vez más, Clerk Maxwell compartía con otros partidarios decimonónicos de la teoría ondulatoria de la luz la convicción de que las ondas luminosas habían de propagarse a través de un éter material. Así pues, un problema normal para la mayoría de sus contemporáneos mejor dotados era el de diseñar un medio mecánico que fuese el soporte de dichas ondas. Con

[9] E. Meyerson, *Identity and Reality* (Nueva York, 1930), cap. 10. [La obra original, *Identité et réalité*, se publicó en París en 1908 y la tradujo al español Joaquín Xirau, *Identidad y realidad*, Madrid, Reus, 1929.]

todo, su propia teoría, la teoría electromagnética de la luz, no ofrecía en absoluto una explicación del medio capaz de sustentar las ondas luminosas, y claramente contribuyó a que fuese mucho más difícil que antes encontrar tal explicación. Al principio, la teoría de Maxwell fue ampliamente rechazada por tal motivo. Pero, del mismo modo que había ocurrido con la teoría de Newton, resultaba difícil prescindir de la de Maxwell, y a medida que alcanzaba la condición de paradigma, cambió la actitud de la comunidad hacia ella. En las primeras décadas del siglo xx, aunque de ningún modo había sido así, la insistencia de Maxwell en que existía un éter mecánico ofrecía cada vez más el aspecto de un mero reconocimiento verbal al éter, con lo que se abandonaron los intentos de diseñar tal medio etéreo. Los científicos dejaron de considerar no científico hablar de un "desplazamiento" eléctrico sin especificar qué se desplazaba. El resultado de ello fue, una vez más, un nuevo conjunto de problemas y normas que a la larga terminó teniendo mucho que ver con el surgimiento de la teoría de la relatividad.[10]

Estos cambios característicos de la concepción que tiene una comunidad científica de sus problemas y normas legítimos tendrían menos importancia para la tesis de este ensayo si se pudiera suponer que se producen siempre desde un tipo metodológicamente inferior a otro superior. En tal caso, una vez más, sus efectos parecerían ser acumulativos. No es entonces de extrañar que algunos historiadores hayan defendido que la historia de la ciencia registra un aumento continuo de la madurez y el refinamiento de la concepción humana de la naturaleza de la ciencia.[11] Sin embargo, la tesis del desarrollo acumulativo de los problemas y normas científicos es aún más difícil de defender que la de la acumulación de las teorías. El intento de explicar la gravedad no estaba orientado a un problema intrínsecamente ilegítimo, por más que fuese fructíferamente abandonado por la mayor parte de los científicos del siglo xviii. Las objeciones planteadas a las fuerzas innatas no eran ni inherentemente acientíficas ni metafísicas en algún sentido peyorativo. No hay normas externas que permitan un juicio de ese tipo. Lo que se produjo no fue ni un endurecimiento ni una relajación de las normas, sino un simple cambio exigido por la adopción de un nuevo paradigma. Además, tal cambio se ha invertido desde entonces y podría dar la vuelta una vez más. En el siglo xx, Einstein consiguió explicar las atracciones gravitatorias y dicha explicación ha hecho retornar a la ciencia a un conjunto de cánones y problemas que, a este respecto en concreto, se parecen más a los de los predecesores de Newton que a los de sus sucesores. Asimismo, una vez más, el desarrollo de la mecánica cuántica ha invertido las prohibiciones metodológicas originadas en la revolución química. Ahora los químicos intentan, con gran éxito por cierto, explicar el color, el estado de agregación y otras cualidades de las sustancias usadas y producidas en los laboratorios. Tal vez esté en camino una

[10] E. T. Whittaker, *A History,* II, pp. 28-30.

[11] Para un intento brillante y completamente puesto al día de hacer encajar el desarrollo científico en este lecho de Procrustes, véase C. C. Gillispie, *The Edge of Objectivity: An Essay in the History od Scientific Ideas* (Princeton, 1960).

inversión similar en la teoría electromagnética. En la física contemporánea, el espacio no es el substrato inerte y homogéneo empleado tanto por la teoría de Newton como por la de Maxwell; algunas de sus propiedades no son muy diferentes de las otrora atribuidas al éter, por lo que quizá algún día podamos saber qué es un desplazamiento eléctrico.

Al cambiar el acento de las funciones cognoscitivas de los paradigmas a las normativas, los ejemplos precedentes amplían nuestra comprensión de los modos en que los paradigmas conforman la vida científica. Anteriormente nos habíamos centrado principalmente en el examen de la función de los paradigmas como vehículos de las teorías científicas. En este aspecto, funcionan indicándole al científico las entidades que la naturaleza tiene o deja de tener, así como de qué manera se comportan dichas entidades. Tal información suministra un mapa cuyos detalles dilucida la investigación científica madura. Y dado que la naturaleza es demasiado compleja y diversa para poder ser explorada de manera aleatoria, dicho mapa es tan esencial para el desarrollo inacabable de la ciencia como la observación y la experimentación. Merced a las teorías que incorporan, los paradigmas resultan ser una parte constituyente de la actividad investigadora. Con todo, son también constitutivos de la ciencia en otros aspectos, que es lo que ahora nos ocupa. En concreto, nuestros ejemplos más recientes muestran que los paradigmas suministran a los científicos no sólo un mapa, sino también algunas de las directrices esenciales para levantar mapas. Al aprender un paradigma, el científico aprende a la vez, y normalmente de manera inextricable, teorías, métodos y normas. Por consiguiente, cuando cambian los paradigmas, se dan usualmente desplazamientos importantes en los criterios que determinan la legitimidad tanto de los problemas como de las soluciones propuestas.

Esta observación nos retrotrae al punto con el que empezó el capítulo, pues nos suministra la primera indicación explícita de por qué la elección entre paradigmas rivales plantea regularmente problemas que no se pueden resolver con los criterios de la ciencia normal. En la medida, tan importante como incompleta, en que dos escuelas científicas discrepen acerca de qué es un problema y qué una solución, será inevitable que mantengan un diálogo de sordos cuando discutan los méritos relativos de sus respectivos paradigmas. En las argumentaciones circulares que normalmente resultan de ahí, se demostrará que cada uno de los paradigmas satisface más o menos los criterios propios, mientras que se queda corto según algunos de los dictados por su rival. Existen además otras razones para el carácter incompleto del contacto lógico que caracteriza sistemáticamente los debates entre los paradigmas. Por ejemplo, dado que ningún paradigma resuelve jamás todos los problemas que define, y dado que no hay dos paradigmas que dejen sin resolver exactamente los mismos problemas, los debates entre los paradigmas siempre entrañan la siguiente pregunta: ¿Qué problemas resulta más importante haber resuelto? Al igual que el debate sobre las normas rivales, esta pregunta acerca de valores sólo se puede responder en términos de criterios que caen por completo fuera de la ciencia normal,

siendo dicho recurso a criterios externos lo que de manera más clara hace revolucionarios los debates sobre paradigmas. No obstante, también está en juego algo aún más fundamental que las normas y los valores. Hasta ahora sólo he defendido que los paradigmas son constitutivos de la ciencia. Ahora quiero mostrar un sentido según el cual también son constitutivos de la naturaleza.

X. LAS REVOLUCIONES COMO CAMBIOS DE LA VISIÓN DEL MUNDO

Al examinar los documentos de la investigación del pasado desde el punto de vista de la historiografía contemporánea, el historiador de la ciencia puede sentir la tentación de proclamar que cuando cambian los paradigmas, el propio mundo cambia con ellos. Guiados por un nuevo paradigma, los científicos adoptan nuevos instrumentos, miran en lugares nuevos y, lo que resulta más importante, durante las revoluciones ven cosas nuevas y diferentes cuando miran con instrumentos familiares en lugares en los que ya antes habían mirado. Parecería más bien como si la comunidad profesional hubiese sido transportada repentinamente a otro planeta en el que los objetos familiares se viesen bajo una luz diferente, estando además acompañados por otros que no resultan familiares. Por supuesto, no ocurre nada por el estilo; no hay ningún traslado geográfico y fuera del laboratorio los asuntos ordinarios continúan normalmente como antes. Con todo, los cambios de paradigma hacen que los científicos vean de un modo distinto el mundo al que se aplica su investigación. En la medida en que su único acceso a dicho mundo es a través de lo que ven y hacen, podemos estar dispuestos a afirmar que tras una revolución los científicos responden a un mundo distinto.

Las demostraciones conocidas de los cambios

en la Gestalt visual resultan muy sugerentes en cuanto prototipos elementales de estas transformaciones del mundo de los científicos. Lo que antes de una revolución eran patos en el mundo del científico, son conejos después de ella. La persona que antes veía el exterior de una caja desde arriba, ve luego su interior desde abajo. Las transformaciones de este tipo acompañan comúnmente al proceso de aprendizaje científico, por más que en general sean más graduales y casi siempre irreversibles. Al mirar las curvas de nivel, el estudiante no ve más que líneas sobre un papel allí donde el cartógrafo ve una imagen del terreno. Al mirar una fotografía de una cámara de niebla, el estudiante sólo ve líneas discontinuas y confusas, mientras que el físico ve un registro de sucesos subnucleares familiares. Es preciso pasar por algunas de esas transformaciones de la visión antes de que el estudiante se convierta en un habitante del mundo del científico, capaz de ver lo que ve el científico y capaz de responder como él. Con todo, el mundo al que tiene entonces acceso el estudiante no está fijado de una vez por todas ni por la naturaleza del medio, por una parte, ni por la naturaleza de la ciencia, por la otra. Más bien está determinado conjuntamente por el medio y por la particular tradición de ciencia normal en la que el estudiante ha sido entrenado. Por consiguiente, en tiempos revolucionarios, cuando cambia la tradición de la ciencia normal, la percepción que tiene el científico de su medio ha de reeducarse; en algunas situaciones familiares, ha de aprender a ver una nueva Gestalt. Una vez que lo haya hecho, el mundo de su investigación parecerá ser aquí y allá inconmensurable con aquel

que habitaba antes. Ésta es otra de las razones por las que las escuelas guiadas por paradigmas diferentes siempre se enfrentan a algunos malentendidos.

Está claro que los experimentos de la Gestalt, en su forma más común, ilustran tan sólo la naturaleza de las transformaciones perceptivas. Nada nos dicen acerca de la función de los paradigmas o de las experiencias previamente asimiladas en el proceso de la percepción. Mas sobre este particular existe una abundante bibliografía psicológica, gran parte de la cual surge del trabajo original del Instituto de Hanover. Un sujeto experimental que se pone unos anteojos con lentes inversoras de la imagen, inicialmente ve el mundo cabeza abajo. Al principio su aparato perceptivo funciona como si hubiese sido entrenado para funcionar sin los anteojos, por lo que el resultado es una desorientación extrema y una aguda crisis personal. Pero, una vez que el sujeto ha comenzado a aprender a manejarse en este nuevo mundo, todo su campo visual se invierte, normalmente tras un periodo intermedio en el que la visión resulta sencillamente confusa. A partir de entonces, se ven de nuevo los objetos como se veían antes de ponerse los anteojos. La asimilación de un campo visual previamente anómalo ha reaccionado transformando el propio campo.[1] Tanto literal como metafóricamente, la persona acostumbrada a las lentes inversoras ha sufrido una transformación revolucionaria de la visión.

[1] Los experimentos originales se deben a George M. Stratton, "Vision without Inversion of the Retinal Image", *Psychological Review*, IV (1897), pp. 341-360, 463-481. Se puede en-

Los sujetos del experimento de los naipes anómalos discutido en el capítulo VI experimentaron una transformación muy semejante. Hasta que aprendieron, gracias a una exposición prolongada, que el universo contenía cartas anómalas, sólo veían el tipo de barajas para el que los había equipado la experiencia previa. Con todo, una vez que la experiencia ha suministrado las categorías adicionales requeridas, eran capaces de ver todas las cartas anómalas en la primera exposición lo bastante larga como para permitir alguna identificación de cualquier tipo. Hay también otros experimentos que demuestran que el tamaño, color, etc., que se percibe en los objetos presentados experimentalmente varían también según el entrenamiento y la experiencia previos del sujeto.[2] Al explorar la rica bibliografía experimental de la que se han sacado estos ejemplos, surge la sospecha de que la propia percepción tiene como prerrequisito algo similar a un paradigma. Lo que ve una persona depende tanto de a qué mira como también de qué le ha enseñado a ver su experiencia visual y conceptual previa. En ausencia de tal aprendizaje, sólo puede darse "una lujuriante y zumbante confusión", para decirlo con las palabras de William James.

En años recientes, varias de las personas interesadas en la historia de la ciencia han encontrado inmensamente sugerentes los tipos de experimentos descritos antes. N. R. Hanson, en particular, ha empleado las demostraciones de la Gestalt para elaborar algunas de las mismas consecuencias de las creencias científicas de las que me ocupo aquí.[3] Otros colegas han señalado repetidamente que la historia de la ciencia tendría más sentido y resultaría más coherente si se pudiese suponer que de vez en cuando los científicos experimentan cambios en la percepción como los descritos más arriba. Sin embargo, por más que los experimentos psicológicos sean sugerentes, en este caso no pueden ser más que eso. Muestran características de la percepción que *podrían* ser centrales en el desarrollo científico, pero no demuestran que las observaciones precisas y controladas realizadas por los científicos que investigan compartan en absoluto esas características. Además, la naturaleza misma de esos experimentos hace imposible una demostración directa de tal cuestión. Si los ejemplos históricos han de hacer que parezcan pertinentes estos experimentos psicológicos, hemos de reparar antes en qué tipos de elementos de juicio podemos esperar que la historia pueda o no ofrecer.

El sujeto de una demostración de la Gestalt sabe que su percepción se ha transformado porque puede cambiar adelante y atrás reiteradamente mientras sostiene en sus manos el mismo libro o la misma hoja de papel. Consciente de que nada ha cambiado en su entorno, acaba centrando la atención no en la figura (el pato o el conejo), sino

contrar una panorámica más al día en Harvey A. Carr, *An Introduction to Space Perception* (Nueva York, 1935), pp. 18-57.

[2] Véanse los ejemplos en Albert H. Hastorf, "The Influence of Suggestion on the Relationship between Stimulus Size and Perceived Distance", *Journal of Psychology*, XXIX (1950), pp. 195-217; así como Jerome S. Bruner, Leo Postman y John Rodrigues, "Expectations and the Perception of Color", *American Journal of Psychology*, LXIV (1951), pp. 216-227.

[3] N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), cap. I [hay traducción española, *Patrones del descubrimiento*, Madrid, Alianza, 1977].

en las líneas del papel que está mirando. Incluso puede terminar aprendiendo a ver esas líneas sin ver ninguna de las figuras, pudiendo decir entonces (algo que antes no hubiera podido decir de manera legítima) que lo que realmente ve son esas líneas, aunque las vea alternativamente *como* un pato o *como* un conejo. Igualmente, el sujeto del experimento del naipe anómalo sabe (o, más exactamente, se le puede persuadir de ello) que su percepción ha de haber cambiado porque una autoridad externa, el experimentador, le asegura que al margen de lo que *viera, estaba mirando* todo el tiempo un cinco de corazones negro. En amos casos, como en todos los experimentos psicológicos semejantes, la efectividad de la demostración depende de que ésta sea analizable de este modo. A menos que haya una norma externa respecto de la cual demostrar la existencia de un cambio de visión, no podría extraerse conclusión alguna cerca de la existencia de posibilidades perceptivas alternativas.

Sin embargo, con la observación científica la situación es exactamente la inversa. Los científicos no poseen recurso alguno más allá de lo que ven con sus ojos e instrumentos. Si hubiese alguna autoridad superior respecto de la cual se pudiese mostrar que su visión se había transformado, entonces dicha autoridad se convertiría en la fuente de sus datos, mientras que la conducta de su visión se transformaría en una fuente de problemas, al modo en que la del sujeto experimental lo es para el psicólogo. Surgirían los mismos tipos de problemas si el científico pudiera cambiar atrás y adelante como el sujeto de los experimentos de la Gestalt. El periodo durante el cual la

luz era "a veces una onda y a veces una partícula" fue un periodo de crisis, un periodo en el que algo iba mal, y que sólo terminó con el desarrollo de la mecánica ondulatoria y la constatación de que la luz era una entidad autoconsistente distinta tanto de las ondas como de las partículas. Por tanto, en las ciencias, si las transformaciones perceptivas acompañan a los cambios de paradigma, no hemos de esperar que los científicos den fe directamente de dichos cambios. Al mirar la Luna, el converso al copernicanismo no dice "acostumbraba a ver un planeta, mas ahora veo un satélite". Tal manera de expresarse daría a entender que en cierto sentido el sistema tolemaico había sido correcto en algún momento. Por el contrario, un converso a la nueva astronomía dice, "antaño tomaba a la Luna por un planeta (o veía la Luna como un planeta), pero estaba equivocado". Ese tipo de afirmaciones es recurrente después de las revoluciones científicas. Si ordinariamente enmascara un cambio en la visión científica o alguna otra transformación mental con los mismos efectos, no podemos esperar un testimonio directo acerca de dicho cambio. Hemos de buscar por el contrario testimonios indirectos y comportamentales en el sentido de que el científico con un paradigma nuevo ve de modo distinto de como había visto antes.

Volvamos pues a los datos y preguntémonos qué tipo de transformaciones en el mundo del científico puede descubrir el historiador que cree en tales cambios. El descubrimiento de Urano debido a sir William Herschel suministra un primer ejemplo que además mantiene un estrecho paralelismo con el experimento del naipe anóma-

lo. Al menos en 17 ocasiones distintas entre 1690 y 1781, algunos astrónomos, incluyendo a varios de los más eminentes observadores europeos, habían visto una estrella en posiciones que nosotros suponemos ahora que tienen que haber estado ocupadas en aquel momento por Urano. Uno de los mejores observadores de dicho grupo había visto de hecho la estrella en cuatro noches sucesivas de 1769 sin percatarse del movimiento que podría haber sugerido otra identificación. Cuando Herschel observó por primera vez el mismo objeto 12 años más tarde, lo hizo con un telescopio mucho mejor fabricado por él mismo. Como resultado de ello, fue capaz de darse cuenta de que ofrecía el tamaño aparente de un disco lo que era al menos inusual para una estrella. Algo andaba mal, y por consiguiente pospuso la identificación hasta examinar mejor las cosas. Dicho examen puso de manifiesto el movimiento de Urano entre las estrellas y por consiguiente ¡Herschel anunció que había visto un nuevo cometa! Tan sólo varios meses más tarde, y tras infructuosos intentos de hacer encajar el movimiento observado en una órbita cometaria, Lexell sugirió que la órbita probablemente era planetaria.[4] Una vez aceptada esta sugerencia, en el mundo del astrónomo profesional había unas cuantas estrellas menos y un planeta más. Un cuerpo celeste que había sido observado intermitentemente durante casi un siglo, se vio de modo distinto después de 1781 porque, como el naipe anómalo, ya no se podía hacer encajar en las categorías perceptivas (estrella o cometa) suministradas por el paradigma anteriormente dominante.

[4] Peter Doig, *A Concise History of Astronomy* (Londres, 1950), pp. 115-116.

El cambio de visión que permitió a los astrónomos ver Urano, el planeta, con todo no parece haber afectado exclusivamente a la percepción de ese objeto anteriormente observado. Sus consecuencias tuvieron más alcance. Probablemente, aunque los elementos de juicio no son claros, el pequeño cambio paradigmático inducido por Herschel contribuyó a preparar a los astrónomos para el descubrimiento rápido, tras 1801, de numerosos planetas menores o asteroides. Debido a su pequeño tamaño, éstos no mostraban la ampliación anómala que había alertado a Herschel. Sin embargo, los astrónomos, preparados para el hallazgo de planetas adicionales, fueron capaces de identificar 20 de ellos con instrumentos normales en los primeros 50 años del siglo XIX.[5] La historia de la astronomía suministra muchos otros ejemplos de cambios en la percepción científica inducidos por el paradigma, algunos de los cuales resultan incluso más claros. ¿Acaso podría ser accidental, por ejemplo, que los astrónomos de Occidente vieran por primera vez cambios en los cielos, anteriormente inmutables, durante el medio siglo posterior a la propuesta del nuevo paradigma copernicano? Los chinos, cuyas creencias cosmológicas no impedían los cambios celestes, habían registrado la aparición de muchas estrellas nuevas en los cielos en fechas mucho más tempranas. Asimismo, incluso sin la ayuda del te-

[5] Rudolph Wolf, *Geschichte der Astronomie* (Munich, 1877), pp. 513-515, 683-693. Nótese en particular hasta qué punto la explicación de Wolf hace difícil explicar estos descubrimientos como consecuencia de la ley de Bode.

lescopio, los chinos habían registrado sistemáticamente la aparición de las manchas solares siglos antes de que las vieran Galileo y sus contemporáneos.[6] No fueron las manchas solares y la nueva estrella los únicos ejemplos de cambio celeste que aparecieron en los cielos de la astronomía occidental inmediatamente después de Copérnico. Mediante el uso de instrumentos tradicionales, algunos tan sencillos como un hilo, los astrónomos de finales del siglo XVI descubrieron repetidamente que los cometas vagabundeaban a su arbitrio a través del espacio anteriormente reservado a los inmutables planetas y estrellas.[7] La propia facilidad y rapidez con la que los astrónomos vieron nuevas cosas al mirar los viejos objetos con los viejos instrumentos puede inducirnos a decir que, después de Copérnico, los astrónomos vivían en un mundo distinto. En cualquier caso, su investigación procedía como si así fuese.

Hemos extraído los ejemplos anteriores de la astronomía porque los informes de observaciones celestes se expresan frecuentemente con un vocabulario que consta de términos hasta cierto punto puramente observacionales. Sólo en tales informes podemos esperar encontrar algo que se aproxime a un paralelismo pleno de las observaciones de los científicos con las de los sujetos experimentales del psicólogo. Pero no es necesario insistir en tal paralelismo pleno, y tenemos mucho que ganar relajando nuestras exigencias.

[6] Joseph Needham, *Science and Civilization in China*, III (Cambridge, 1959), pp. 423-429, 434-436.

[7] T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution*, pp. 206-209 [en la traducción española, *La revolución copernicana*, pp. 270-273].

Si podemos quedar satisfechos con el uso cotidiano del verbo *ver*, reconoceremos rápidamente que ya nos hemos topado con muchos otros ejemplos de cambios en la percepción científica que acompañan a los cambios de paradigma. El uso ampliado de *percepción* y de *ver* requerirá enseguida de una defensa explícita, pero permítaseme antes ejemplificar su aplicación en la práctica.

Reconsideremos por un momento dos de nuestros ejemplos anteriores tomados de la historia de la electricidad. Durante el siglo XVII, cuando su investigación estaba guiada por una u otra teoría de los efluvios, los electricistas veían una y otra vez que las motas rebotaban o caían de los cuerpos electrificados que las habían atraído. Al menos eso es lo que los observadores del siglo XVII decían ver, y no tenemos más razones para dudar de sus informes de percepción que de los nuestros propios. Situado ante el mismo aparato, un observador moderno vería una repulsión electrostática, más bien que un rebote mecánico o gravitatorio, pero históricamente con una sola excepción universalmente ignorada, la repulsión electrostática no fue vista como tal hasta que el aparato a gran escala de Hauksbee amplió enormemente sus efectos. Sin embargo, la repulsión tras la electrificación por contacto fue solamente uno de los diferentes efectos de repulsión que vio Hauksbee. Mediante sus investigaciones, más bien que por un cambio de Gestalt, la repulsión se convirtió repentinamente en *la* manifestación fundamental de la electrificación, siendo entonces la atracción lo que hacía falta explicar.[8] Los fenóme-

[8] Duane Roller y Duane H. D. Roller, *The Development*, pp. 21-29.

nos eléctricos visibles a comienzos del siglo XVIII eran más sutiles y más variados que los que veían los observadores del siglo XVII. Una vez más, tras la asimilación del paradigma de Franklin, el electricista que miraba una botella de Leyden veía algo distinto de lo que había visto antes. El artilugio se había convertido en un condensador para el que no era preciso ni la forma de botella ni el vidrio. En lugar de ello pasaron a primer plano las dos capas conductoras, una de las cuales no había formado parte del aparato original. Como atestiguan gradualmente tanto las discusiones escritas como las representaciones pictóricas, dos placas metálicas con un no conductor entre ellas se habían convertido en el prototipo de la clase.[9] Simultáneamente fueron descritos de nuevo otros efectos de inducción, mientras que otros fueron observados por primera vez.

Los cambios de este tipo no se limitan a la astronomía y la electricidad. Ya hemos señalado algunas de las transformaciones similares de la visión que se pueden obtener de la historia de la química. Lavoisier, decíamos, vio oxígeno allí donde Priestley había visto aire desflogistizado y donde otros no habían visto nada en absoluto. Con todo, al aprender a ver oxígeno, Lavoisier tenía que cambiar también su visión de muchas otras sustancias más familiares. Por ejemplo, tenía que ver un mineral compuesto allí donde Priestley y sus contemporáneos habían visto una tierra elemental, y se dieron además otros cambios semejantes. Como resultado del descubrimiento del oxígeno, Lavoisier vio la naturaleza como mínimo de manera diferente. Y, en ausencia de algún recurso a esa hipotética naturaleza fija que "vio de manera diferente", el principio de economía nos incita a decir que tras descubrir el oxígeno Lavoisier trabajaba en un mundo distinto.

[9] Véase el análisis del capítulo VII y la bibliografía incluida en la referencia que se cita allí en la nota 9.

Enseguida indagaré las posibilidades de evitar esta expresión extraña, pero antes necesitamos otro ejemplo de su uso, derivado éste de una de las partes mejor conocidas del trabajo de Galileo. Desde la remota antigüedad, la mayoría de las personas habían visto algún grave oscilando aquí y allá colgado de una cuerda o de una cadena hasta terminar deteniéndose. Para los aristotélicos, quienes creían que un cuerpo pesado se mueve por su propia naturaleza desde una posición alta hasta un estado de reposo natural en otra inferior, el cuerpo oscilante estaba simplemente cayendo con dificultad. Limitado por la cuerda, sólo podría conseguir el reposo en el punto más bajo después de un movimiento tortuoso y un tiempo considerable. Por el contrario, cuando Galileo veía el cuerpo oscilante, veía un péndulo, un cuerpo que era casi capaz de repetir el mismo movimiento una y otra vez hasta el infinito. Y al ver tal cosa, Galileo observó además otras propiedades del péndulo, construyendo en torno a él muchas de las partes más significativas y originales de su nueva dinámica. Por ejemplo, Galileo derivó de las propiedades del péndulo sus únicos argumentos plenos y convincentes sobre la independencia del peso y la tasa de caída, así como de la relación entre la caída vertical y la velocidad terminal de los movimientos por planos inclina-

dos.[10] Vio todos estos fenómenos naturales de modo distinto de como habían sido vistos anteriormente.

¿Por qué se produjo ese cambio de visión? Gracias al particular genio de Galileo, por supuesto. Pero repárese en que el genio no se manifiesta aquí por una observación más precisa u objetiva del cuerpo oscilante. Descriptivamente la percepción aristotélica es igualmente exacta. Cuando Galileo informó de que el periodo del péndulo era independiente de la amplitud, para amplitudes hasta de 90°, su visión del péndulo lo llevó a ver mucha más regularidad de la que nosotros podemos descubrir ahí.[11] Lo que parece haber estado implicado más bien fue la explotación por parte del genio de las posibilidades perceptivas disponibles gracias a un cambio del paradigma medieval. Galileo no recibió una educación completamente aristotélica. Por el contrario, aprendió a analizar los movimientos en términos de la teoría del ímpetu, un paradigma tardomedieval que sostenía que la continuación del movimiento de un grave se debe a un motor interno implantado en él por el proyector que inició su movimiento. Jean Buridan y Nicole Oresme, los escolásticos del siglo XIV que ofrecieron la formulación más perfecta de la teoría del ímpetu, son las primeras personas, que

[10] Galileo Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, trad. H. Crew y A. de Salvio (Evanston, Illinois, 1946), pp. 80-81, 162-166 [hay traducción española, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Madrid, Editora Nacional, 1976, pp. 175-178 y 289-292; las páginas del volumen VIII de la edición de las *Opere* de A. Favaro son 127-129 y 206-208.]

[11] *Ibidem*, pp. 91-94, 244 [traducción citada, pp. 190-194 y 396-398; *Opere*, VIII, pp. 138-141 y 277-278].

sepamos, que vieron en los movimientos oscilatorios lo que en parte veía en ellos Galileo. Buridan describe el movimiento de una cuerda vibrante diciendo que el ímpetu se imprime en ella cuando es golpeada inicialmente; a continuación el ímpetu se consume en desplazar la cuerda contra la resistencia de su tensión; la tensión hace volver luego a la cuerda a su posición, confiriéndole un ímpetu creciente hasta alcanzar el punto medio del movimiento; tras ello, el ímpetu desplaza la cuerda en la dirección opuesta, una vez más en contra de la tensión de la cuerda, y así prosigue un proceso simétrico que puede prolongarse indefinidamente. Andando el siglo, Oresme bosquejó un análisis similar de la piedra oscilante que hoy se ofrece como la primera discusión de un péndulo.[12] Su punto de vista está muy próximo a aquel con el que Galileo abordó inicialmente el péndulo. En el caso de Oresme al menos, y casi con certeza también en el de Galileo, se trataba de un punto de vista que había hecho posible la transición del paradigma original del movimiento de Aristóteles al paradigma escolástico del ímpetu. Hasta que no se inventó dicho paradigma escolástico, el científico no podía ver péndulos, sino sólo piedras oscilantes. Los péndulos fueron engendrados por algo muy similar a un cambio de Gestalt inducido por el paradigma.

No obstante, ¿realmente hemos de describir lo que separa a Galileo de Aristóteles o a Lavoisier de Priestley como un cambio de visión? ¿*Veían*

[12] M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wisconsin, 1959), pp. 537-538, 570.

realmente estas personas cosas diferentes cuando *miraban* los mismos tipos de objetos? ¿Hay algún sentido legítimo en el que podamos decir que desarrollaban su investigación en mundos distintos? No se pueden postergar por más tiempo estas preguntas, pues es obvio que hay otro modo mucho más usual de describir todos los ejemplos históricos bosquejados más arriba. Sin duda muchos lectores preferirán decir que lo que cambia con un paradigma es tan sólo la interpretación que hace el científico de las observaciones, las cuales por sí mismas están fijadas de una vez por todas por la naturaleza del medio y del aparato perceptivo. Según esta manera de ver las cosas, tanto Priestley como Lavoisier vieron ambos oxígeno, por más que interpretaran sus observaciones de modo distinto. También Aristóteles y Galileo habrían visto péndulos, aunque divergían en su interpretación de lo que cada uno había visto.

Permítaseme decir de entrada que este enfoque tan usual de lo que ocurre cuando los científicos cambian su manera de pensar sobre cuestiones fundamentales no puede ser ni totalmente errónea ni una mera equivocación. Por el contrario, es una parte esencial de un paradigma filosófico iniciado por Descartes y desarrollado al mismo tiempo que la dinámica newtoniana. Dicho paradigma ha sido de utilidad tanto a la ciencia como a la filosofía. Su explotación, como la de la propia dinámica, ha sido fecunda para una comprensión fundamental que tal vez no hubiera podido lograrse de otra manera. Pero como también indica el ejemplo de la dinámica newtoniana, ni siquiera el más sorprendente de los éxitos del pasado

garantiza que la crisis se pueda posponer indefinidamente. Las investigaciones actuales en ciertas partes de la filosofía, la psicología, la lingüística e incluso la historia del arte, coinciden en sugerir que el paradigma tradicional está un tanto sesgado. El desajuste se vuelve también cada vez más visible por el estudio histórico de la ciencia, hacia el que se dirige aquí necesariamente casi toda nuestra atención.

Ninguno de estos temas promotores de crisis ha producido aún una alternativa viable al paradigma epistemológico tradicional, mas empiezan a sugerir cuáles habrán de ser algunas de las características de dicho paradigma. Yo, por ejemplo, soy dolorosamente consciente de las dificultades creadas al decir que cuando Aristóteles y Galileo miraban piedras oscilando, el primero veía una caída obstaculizada mientras que el segundo veía un péndulo. Las mismas dificultades se presentan de modo aún más fundamental con las frases iniciales de este capítulo: aunque el mundo no cambie con un cambio de paradigma, tras él el científico trabaja en un mundo distinto. No obstante, estoy convencido de que hemos de aprender a conferir sentido al menos a enunciados parecidos a éstos. Lo que ocurre durante una revolución científica no es plenamente reductible a una reinterpretación de datos aislados y estables. En primer lugar, los datos no son inequívocamente estables. Un péndulo no es una piedra que cae y el oxígeno no es aire desflogistizado. Por consiguiente, los datos que los científicos recogen de estos diversos objetos son ellos mismos distintos, como veremos enseguida. Y lo que es más importante, el proceso mediante el cual el

individuo o la comunidad realiza la transición de la caída obstaculizada al péndulo o del aire desflogistizado al oxígeno, no se parece a una interpretación. ¿Cómo podría serlo en ausencia de unos datos fijos que el científico pueda interpretar? Más que un intérprete, el científico que abraza un nuevo paradigma es como la persona que lleva lentes inversoras. Aunque se enfrenta a la misma constelación de objetos que antes, y sabe que es así, con todo los encuentra transformados completamente en muchos de sus detalles.

Estas observaciones no pretenden indicar que no sea típico de los científicos interpretar datos y observaciones. Por el contrario, Galileo interpretaba las observaciones sobre el péndulo, Aristóteles interpretaba las observaciones sobre las piedras que caen, Musschenbroek interpretaba las observaciones sobre una botella llena de carga y Franklin interpretaba las observaciones sobre un condensador. Pero todas y cada una de estas interpretaciones presuponían un paradigma. Formaban parte de la ciencia normal, una empresa que, como ya hemos visto, tiene por objeto refinar, extender y articular un paradigma ya existente. El capítulo III ofrecía varios ejemplos en los que la interpretación desempeñaba una función central, ejemplos que tipifican la abrumadora mayoría de la investigación. En cada uno de ellos, y en virtud de un paradigma aceptado, el científico sabía qué es lo que era un dato, qué instrumentos habrían de utilizarse para obtenerlo y qué conceptos eran pertinentes para interpretarlo. Dado un paradigma, la interpretación de los datos resulta central en la empresa que lo explora.

Mas la empresa interpretativa, y ése era el problema del penúltimo párrafo, tan sólo puede articular un paradigma, no corregirlo. Los paradigmas no pueden ser en absoluto corregidos por la ciencia normal, la cual, como ya hemos visto, en última instancia sólo conduce al reconocimiento de anomalías y a la crisis. Además, estas crisis no terminan por interpretación y deliberación, sino merced a un acontecimiento relativamente repentino y no estructurado semejante a un cambio de Gestalt. Entonces los científicos tienden a hablar de que "las escamas caen de los ojos" o del "destello de luz" que "baña" un rompecabezas antes sumido en las tinieblas, lo que permite que sus componentes se vean de un modo nuevo que por vez primera hace posible su solución. En otras ocasiones, la iluminación pertinente llega durante el sueño.[13] No hay ningún sentido ordinario del término *interpretación* que se avenga a estos destellos de intuición a través de los cuales nace un paradigma nuevo. Por más que tales intuiciones, tanto la anómala como la congruente con la ciencia normal, dependan de la experiencia obtenida con el viejo paradigma, no están ligadas lógicamente o paso a paso con elementos particu-

[13] [Jacques] Hadamard, *Subconscient intuition et logique dans la recherche scientifique (Conférence faite au Palais de la Découverte le 8 Décembre 1945* [Alençon, s.f.]), pp. 7-8. Se puede encontrar una exposición mucho más completa, aunque restringida exclusivamente a las innovaciones matemáticas, en la obra del mismo autor, *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* (Princeton, 1949) [existe una traducción española de la primera edición de Princeton, 1945, *Psicología de la invención en el campo matemático*, Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1947; el título inglés es *Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field*].

lares de dicha experiencia, como habría de ocurrir en el caso de una interpretación. Por el contrario, toman grandes porciones de dicha experiencia y las transforman en el haz más bien distinto de experiencia que luego se ligará paso a paso con el nuevo paradigma, aunque no con el antiguo.

Para saber algo más acerca de lo que puedan ser esas diferencias en la experiencia, volvamos por un momento a Aristóteles, Galileo y el péndulo. ¿Qué datos hizo accesibles a cada uno de ellos la interacción entre sus diferentes paradigmas y su medio común? Al ver una caída obstaculizada, los aristotélicos medirían (o al menos discutirían, ya que los aristotélicos rara vez medían) el peso de la piedra, la altura vertical a la que había sido levantada y el tiempo que empleaba para llegar al reposo. Junto con la resistencia del medio, ésas eran las categorías conceptuales desplegadas por la ciencia aristotélica cuando se ocupaban de un cuerpo en caída.[14] La investigación normal guiada por ellas no podría haber producido las leyes descubiertas por Galileo. Lo único que podría hacer, cosa que hizo por otro camino, sería conducir a una serie de crisis de las que surgió la manera que tenía Galileo de ver la piedra oscilante. La obra de Arquímedes sobre

[14] T. S. Kuhn, "A Function for Thought Experiments", en *Mélanges Alexandre Koyré*, R. Taton e I. B. Cohen (eds.), que se publicará en Hermann (París) en 1963. [Se publicó en 1964 con el título *L'Aventure de la science, Mélanges Alexandre Koyré*, París, Hemann, vol. II, pp. 307-334. También se publicó como capítulo 10 de *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, The University of Chicago Press, 1977; traducido al español como *La tensión esencial*, México, FCE, 1981.]

los cuerpos flotantes hizo que el medio no fuera esencial; la teoría del ímpetu hizo el movimiento simétrico y duradero, mientras que el neoplatonismo llamó la atención de Galileo sobre la forma circular del movimiento.[15] Por consiguiente, midió únicamente el peso, el radio, el desplazamiento angular y el tiempo de cada oscilación, que eran exactamente los datos que se podrían interpretar para dar lugar a las leyes del péndulo de Galileo. Para el caso, la interpretación resultó ser casi innecesaria. Dados los paradigmas de Galileo, las regularidades pendulares eran casi accesibles a simple vista. Cómo, si no, habríamos de explicar el descubrimiento de Galileo de que el periodo de la lenteja es totalmente independiente de la amplitud, descubrimiento que la ciencia normal surgida de Galileo hubo de erradicar y que hoy en día somos totalmente incapaces de documentar. Las regularidades, que no podrían haber existido para un aristotélico, y que de hecho la naturaleza no ejemplifica exactamente en ningún sitio, fueron consecuencia de la experiencia inmediata de una persona que vio a la piedra oscilante a la manera de Galileo.

Tal vez este ejemplo sea excesivamente irreal, ya que los aristotélicos no han registrado discusión alguna sobre piedras oscilantes. Para su paradigma, se trataba de un fenómeno extraordinariamente complejo. Sin embargo, los aristotéli-

[15] A. Koyré, *Études Galiléennes* (París, 1939), I, pp. 46-51 [hay traducción española, *Estudios galileanos*, Madrid, Siglo XXI, 1980, pp. 66-72]; así como "Galileo and Plato", *Journal of the History of Ideas*, IV (1943), pp. 400-428 [hay traducción española, "Galileo y Platón" en A. Koyré, *Estudios de historia del pensamiento científico*, Madrid, Siglo XXI, pp. 150-179].

cos sí atendieron el caso más simple de piedras en caída sin restricciones no ordinarias, y aquí se ponen de manifiesto también las mismas diferencias de visión. Al contemplar una piedra que cae, Aristóteles veía un cambio de estado más bien que un proceso. Para él, las mediciones pertinentes de un movimiento eran por tanto la distancia total cubierta y el tiempo total transcurrido, parámetros que suministran lo que hoy en día llamaríamos no velocidad, sino velocidad media.[16] De manera similar, dado que la piedra se veía impulsada por su naturaleza para alcanzar su punto de reposo final, Aristóteles veía el parámetro de distancia pertinente en cualquier instante del movimiento como la distancia *hasta* el punto final, más bien que la distancia *desde* el origen del movimiento.[17] Estos parámetros conceptuales subyacen y confieren sentido a la mayoría de sus conocidas "leyes del movimiento". Con todo, en parte gracias al paradigma del ímpetu y en parte gracias a la doctrina conocida como de la latitud de las formas, la crítica escolástica cambió este modo de ver el movimiento. Una piedra movida por el ímpetu adquiría cada vez más ímpetu a medida que se alejaba de su punto de partida. Así pues, el parámetro pertinente pasó a ser la distancia-desde más bien que la distancia-a. Además, la noción aristotélica de velocidad se vio dividida por los escolásticos en conceptos que poco después de Galileo se convirtieron en nuestras velocidad media y velocidad instantánea. Pero cuando se veía a través del paradigma del que formaban

[16] T. S. Kuhn, "A Function for Thought Experiments".

[17] Koyré, *Études*, II, pp. 7-11 [traducción española, *Estudios galileanos*, pp. 80-84].

parte estas concepciones, la piedra en caída, al modo del péndulo, mostraba las leyes que la regían casi por inspección directa. Galileo no fue una de las primeras personas que sugirieron que las piedras caían con movimiento uniformemente acelerado.[18] Además había desarrollado su teorema sobre este asunto, junto con muchas de sus consecuencias, antes de experimentar con el plano inclinado. Dicho teorema formaba parte de una red de nuevas regularidades accesibles al genio en un mundo determinado conjuntamente por la naturaleza y por los paradigmas en los que se habían educado Galileo y sus contemporáneos. Al vivir en ese mundo, Galileo aún podía, cuando le venía bien, explicar por qué Aristóteles había visto lo que había visto. Sin embargo, el contenido inmediato de la experiencia de Galileo con las piedras en caída libre no había sido el de Aristóteles.

Por supuesto, no está en absoluto claro que debamos preocuparnos tanto por la "experiencia inmediata", es decir, por los rasgos perceptivos que un paradigma ilumina hasta el punto de que muestran sus regularidades casi a simple vista. Tales rasgos, obviamente, han de cambiar cuando cambian los compromisos del científico con los paradigmas, pero distan de lo que ordinariamente tenemos en mente cuando hablamos de los datos brutos o de la experiencia bruta a partir de la cual se supone que se desarrolla la investigación científica. Tal vez la experiencia inmediata debería dejarse de lado por ser algo cambiante, concentrándonos por el contrario en el análisis de las operaciones y mediciones concretas que

[18] Clagett, *The Science of Mechanics*, caps. IV, VI y IX.

los científicos llevan a cabo en su laboratorio. O tal vez se debería llevar aún más lejos el análisis a partir de lo inmediatamente dado. Por ejemplo, podría realizarse en términos de algún lenguaje de observación neutral, tal vez un lenguaje diseñado para adecuarse a las impresiones retinianas que median en lo que ve el científico. Tan sólo de una de estas maneras podemos aspirar a recuperar un ámbito en el que la experiencia sea de nuevo estable de una vez por todas, en el que el péndulo y la caída obstaculizada no sean percepciones distintas, sino más bien diferentes interpretaciones de los datos inequívocos suministrados por la observación de una piedra oscilante.

Pero ¿es la experiencia sensorial fija y neutral? ¿Acaso son las teorías simplemente interpretaciones manufacturadas a partir de datos dados? La perspectiva epistemológica que con más frecuencia ha guiado la filosofía occidental durante tres siglos responde con un inmediato e inequívoco ¡sí! En ausencia de una alternativa desarrollada, encuentro imposible abandonar del todo tal punto de vista. Con todo, ya no funciona de manera efectiva y ahora me parecen inútiles los intentos de hacerlo mediante la introducción de un lenguaje de observación neutro.

Las operaciones y mediciones que realiza un científico en el laboratorio no son "lo dado" de la experiencia, sino más bien "lo recogido con dificultad". No son lo que ve el científico, al menos no hasta que su investigación haya avanzado lo suficiente y su atención esté bien enfocada. Son más bien índices concretos del contenido de percepciones más elementales y, en cuanto tales, se seleccionan para ser escrutadas más de cerca por

la investigación normal tan sólo porque prometen ofrecer una oportunidad para la elaboración fructífera de un paradigma aceptado. Las operaciones y las mediciones están determinadas por el paradigma de manera mucho más clara que la experiencia inmediata de la que en parte derivan. La ciencia no se ocupa de todas las posibles manipulaciones de laboratorio, sino que por el contrario selecciona aquellas pertinentes para yuxtaponer el paradigma a la experiencia inmediata que el paradigma ha determinado en parte. Como resultado de ello, los científicos con distintos paradigmas se enzarzan en diferentes manipulaciones concretas de laboratorio. Las mediciones que hay que realizar sobre un péndulo no son las pertinentes para un caso de caída obstaculizada. Tampoco las operaciones pertinentes para elucidar las propiedades del oxígeno son siempre las mismas que las precisas para investigar las características del aire desflogistizado.

Tal vez algún día se ingenie un lenguaje de observación puro; pero tres siglos después de Descartes nuestras esperanzas en semejante eventualidad siguen dependiendo exclusivamente de una teoría de la percepción y de la mente. Y la experimentación psicológica moderna está produciendo con rapidez muchos fenómenos a los que difícilmente puede enfrentarse tal teoría. El pato-conejo muestra que dos personas con la misma impresión retiniana pueden ver cosas distintas; las lentes inversoras muestran que dos personas con distintas impresiones retinianas pueden ver la misma cosa. La psicología ofrece una gran cantidad de otros elementos de juicio en el mismo sentido, y las dudas que de ello dimanan se ven

fácilmente reforzadas por la historia de los intentos de mostrar un lenguaje observacional efectivo. Ningún intento de lograr tal objetivo se ha aproximado a un lenguaje de puros preceptos universalmente aplicable. Y aquellos intentos que más se aproximan, comparten una característica que refuerza notablemente varias de las tesis principales de este ensayo. Desde el comienzo presuponen un paradigma, tomado sea de una teoría científica existente o de alguna fracción del discurso ordinario, y luego tratan de eliminar de él todos los términos no lógicos y no perceptivos. En algunos ámbitos del discurso, este esfuerzo se ha llevado muy lejos y con resultados fascinantes. Ni que decirse tiene que merece la pena proseguir con ese tipo de esfuerzos. Pero su resultado es un lenguaje que, como el empleado en las ciencias, incorpora un cúmulo de expectativas acerca de la naturaleza y deja de funcionar desde el momento en que dichas expectativas se ven defraudadas. Nelson Goodman señala exactamente esto cuando describe el objetivo de su libro *Structure of Appearance:* "Afortunadamente nada más está en duda [que los fenómenos que se sabe que existen]; pues dista de estar clara la noción de casos "posibles", de casos que no existen aunque podrían existir".[19] Ningún lenguaje restringido de

[19] N. Goodman, *The Structure of Appearance* (Cambridge, Massachusetts, 1951), pp. 4-5. Merece la pena citar el pasaje más por extenso: "Si todos y solos los residentes de Wilminton en 1947 que pesan entre 175 y 180 libras son pelirrojos, entonces 'residente pelirrojo en 1947 de Wilminton' y 'residente de 1947 en Wilminton con peso entre 175 y 180 libras' pueden unirse en una definición constructiva... el problema de si 'podría haber habido' alguien al que se aplicara uno de estos predicados pero no el otro no se sostiene... una vez que

este modo para informar acerca de un mundo plenamente conocido por adelantado puede producir informes meramente neutrales y objetivos sobre "lo dado". La investigación filosófica no ha suministrado aún la más leve indicación de cómo habría de ser un lenguaje capaz de tal cosa.

En tales circunstancias podemos sospechar al menos que los científicos aciertan en principio y en la práctica cuando tratan al oxígeno y a los péndulos (y quizá también a los átomos y a los electrones) como los ingredientes fundamentales de su experiencia inmediata. Como resultado de la experiencia incorporada al paradigma de la especie, la cultura y finalmente la profesión, el mundo del científico se ha poblado de planetas y péndulos, de condensadores y minerales compuestos, amén de otros cuerpos por el estilo. En comparación con estos objetos de la percepción, las lecturas de las varas de medir y las impresiones retinianas resultan construcciones complicadas, a las que la experiencia sólo tiene acceso directo cuando el científico dispone que así ocurra con unas u otras por necesidades especiales de la investigación. Con esto no se quiere sugerir que los péndulos, por ejemplo, sean las únicas cosas que pueda ver un científico al mirar a una piedra que oscila, pues ya hemos señalado que los miembros de otra comunidad científica podrían ver una caída obstaculizada. Pero lo que se sugiere es que el científico que mira una piedra que oscila, no puede tener una experiencia que sea en principio más

hemos determinado que no existe tal persona.... Afortunadamente nada más se pone en duda, pues la noción de casos 'posibles', de casos que no existen pero podrían haber existido, dista de estar clara".

elemental que ver un péndulo. La alternativa no es alguna hipotética visión "fija", sino la visión a través de otro paradigma que haga que la piedra oscilante sea alguna otra cosa.

Todo esto podrá parecer más razonable si recordamos una vez más que ni los científicos ni las personas ordinarias aprenden a ver el mundo a trozos, pieza a pieza. Excepto cuando todas las categorías conceptuales y manipuladoras se encuentran dispuestas por adelantado, por ejemplo para el descubrimiento de otro elemento transuránico más o para descubrir una nueva casa, tanto el científico como el hombre de la calle seleccionan grandes áreas completas del flujo de la experiencia. El niño que transfiere la palabra *mamá* de todos los humanos a todas las mujeres y luego a su madre, no se limita a aprender lo que significa *mamá* o quién es su madre, sino que está aprendiendo a la vez algunas de las diferencias que hay entre machos y hembras, así como algo cerca de cómo se relaciona con él una sola de entre todas las mujeres. Como consecuencia de ello cambian sus reacciones, sus expectativas y sus creencias, y sin duda gran parte del mundo que percibe. Por el mismo motivo, los copernicanos que negaban al Sol el título tradicional de *planeta*, no sólo aprendían qué significa *planeta* o qué era el Sol. Sin duda estaban cambiando el significado de *planeta* a fin de que pudiera seguir estableciendo distinciones útiles en un mundo en el que todos los cuerpos celestes, y no sólo el Sol, se veían de modo distinto a como se habían visto antes. Lo mismo se puede decir en el caso de cualquiera de nuestros anteriores ejemplos. Ver oxígeno en lugar de aire desflogistizado, ver un condensador en lugar de la botella de Leyden o un péndulo en lugar de una caída obstaculizada, era sólo una parte de un cambio integral en la visión científica de una gran cantidad de fenómenos relacionados de carácter químico, eléctrico o dinámico. Los paradigmas determinan al mismo tiempo grandes áreas de la experiencia.

Con todo, sólo una vez que la experiencia se ha visto determinada de esta manera, se puede iniciar la búsqueda de una definición operacional o de un lenguaje de observación puro. El científico o el filósofo que se pregunta qué mediciones o qué impresiones retinianas hacen que el péndulo sea lo que es, deber ser capaz previamente de reconocer un péndulo cuando lo ve. Si en lugar de ello viese una caída obstaculizada, ni siquiera se plantearía la cuestión. Y si viese un péndulo pero lo hiciera a la manera en que ve un diapasón o una balanza oscilante, su pregunta no obtendría respuesta, o al menos no podría responderse del mismo modo, pues no sería la misma pregunta. Por consiguiente, aunque las preguntas acerca de las impresiones retinianas o acerca de las consecuencias de manipulaciones especiales de laboratorio sean siempre legítimas y en ocasiones incluso extraordinariamente fecundas, presuponen un mundo ya dividido perceptiva y conceptualmente de cierta manera. En cierto sentido tales cuestiones forman parte de la ciencia normal, pues dependen de la existencia de un paradigma y reciben distintas respuestas como resultado del cambio de paradigma.

Para concluir este capítulo, olvidémonos en adelante de las impresiones retinianas y limitemos de nuevo la atención a las operaciones de labora-

torio que suministran a los científicos los indicios concretos, aunque fragmentarios, de lo que ya han visto. Ya hemos observado reiteradamente una de las maneras en que tales operaciones de laboratorio cambian con los paradigmas. Tras una revolución científica, muchas mediciones y manipulaciones viejas se vuelven irrelevantes y se ven sustituidas por otras. No se aplican las mismas pruebas al oxígeno que al aire desflogistizado, si bien los cambios de este tipo no son nunca totales. Sea lo que sea lo que ve el científico, después de una revolución sigue mirando el mismo mundo. Además, aunque antes pueda haberlos usado de manera diferente, gran parte de su lenguaje y la mayoría de sus instrumentos de laboratorio siguen siendo los mismos que antes. Como consecuencia de ello, la ciencia posrevolucionaria incluye inevitablemente gran parte de las mismas manipulaciones, realizadas con los mismos instrumentos y descritas en los mismos términos que empleaba su predecesora prerrevolucionaria. En el caso de que se hayan transformado estas manipulaciones persistentes, el cambio debe residir o en la relación con el paradigma o en sus resultados concretos. Merced a la introducción de un último ejemplo nuevo, deseo ahora sugerir que se dan ambos tipos de cambio. Al examinar la obra de Dalton y sus contemporáneos, descubriremos que una y la misma operación, cuando se conecta a la naturaleza a través de un paradigma diferente, puede pasar a ser un indicio de un aspecto completamente distinto de la regularidad de la naturaleza. Además veremos que a veces, en su nueva función, las viejas manipulaciones dan resultados concretos distintos.

A lo largo de la mayor parte del siglo XVIII y hasta entrado el XIX, los químicos europeos creían casi universalmente que los átomos elementales de los que constaban todas las especies de sustancias químicas se mantenían unidos merced a fuerzas de afinidad mutua. Así, un trozo de plata presentaba cohesión debido a las fuerzas de afinidad entre los corpúsculos de plata (hasta después de Lavoisier tales corpúsculos se consideraban a su vez compuestos de partículas aún más elementales). Según la misma teoría, la plata se disolvía en ácido (o la sal en agua) porque las partículas del ácido atraían a las de la plata (o las partículas de agua atraían a las de la sal) con más fuerza que aquella con que se atraían entre sí las partículas de estos solutos. O también, el cobre se disolvería en la solución de plata precipitándola porque la afinidad entre el ácido y el cobre era mayor que la afinidad del ácido por la plata. Había muchísimos otros fenómenos que se explicaban de la misma manera. En el siglo XVIII, la teoría de la afinidad electiva era un paradigma químico admirable, muy utilizado, y a veces con gran fecundidad, en el diseño y análisis de la experimentación química.[20]

No obstante, la teoría de la afinidad establecía la línea de demarcación entre las mezclas físicas y los compuestos químicos de una manera que se ha vuelto extraña desde la asimilación del trabajo de Dalton. Los químicos del siglo XVIII reconocían dos tipos de procesos. Cuando la mezcla producía calor, luz, efervescencia o algo por el estilo, se consideraba que había tenido lugar una unión

[20] H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave*, pp. 34-68.

química. Si, por otra parte, las partículas de la mezcla se podían distinguir visualmente o se podían separar mecánicamente, se trataba únicamente de una mezcla física. Mas estos criterios tan crudos eran de escasa utilidad en la gran cantidad de casos intermedios que existían, como los de la sal en el agua, las aleaciones, el vidrio, el oxígeno en la atmósfera, etc. Con la guía de su paradigma, la mayoría de los químicos consideraban como químico todo este espectro intermedio, por la sencilla razón de que consistían en procesos regidos por fuerzas del mismo tipo. La sal en el agua o el oxígeno en el nitrógeno eran ejemplos de combinación química del mismo tipo que la combinación producida por la oxidación del cobre. Los argumentos a favor de considerar las soluciones como compuestos eran muy poderosos. La propia teoría de la afinidad estaba bien comprobada. Además, la formación de un compuesto explicaba la homogeneidad observada en las soluciones. Si, por ejemplo, el oxígeno y el nitrógeno estuvieran sólo mezclados y no combinados en la atmósfera, entonces el gas más pesado, el oxígeno, debería depositarse en el fondo. Dalton, que consideraba que la atmósfera era una mezcla, nunca logró explicar satisfactoriamente por qué el oxígeno no hacía tal cosa. La asimilación de su teoría atómica terminó creando una anomalía allí donde antes no había habido ninguna.[21]

Existe la tentación de decir que los químicos que veían las soluciones como compuestos diferían de sus sucesores tan sólo en cuestión de defi-

[21] *Ibidem*, pp. 124-129, 139-148. Para Dalton, véase Leonard K. Nash, *The Atomic-Molecular Theory*, pp. 14-21.

niciones. En cierto sentido puede que haya sido así, pero ese sentido no es aquel que hace de las definiciones meras conveniencias convencionales. En el siglo XVIII las mezclas no eran plenamente distinguibles de los compuestos mediante pruebas operacionales, y quizá no podrían haberlo sido. Aun cuando los químicos hubiesen buscado dichas pruebas, hubieran buscado criterios que hicieran que las soluciones fuesen compuestos. La distinción entre mezcla y compuesto formaba parte del paradigma; formaba parte del modo en que veían su campo de investigación, y en cuanto tal resultaba previa a cualquier prueba de laboratorio, aunque no a la experiencia cumulada del conjunto de la química.

Pero mientras que la química se veía de este modo, los fenómenos químicos ejemplificaban leyes distintas de las que surgían con la asimilación del nuevo paradigma de Dalton. En concreto, mientras las soluciones siguieran siendo compuestos, por más que aumentase la experimentación química, no podría haber producido por sí misma la ley de las proporciones fijas. A finales del siglo XVIII era bien sabido que *algunos* compuestos contenían ordinariamente pesos de sus constituyentes en proporciones fijas. En el caso de algunas categorías de reacciones, el químico alemán Richter incluso había constatado las regularidades adicionales incluidas hoy en la ley de los equivalentes químicos.[22] Sin embargo, ningún químico hacía uso de esas regularidades excepto en las recetas, y hasta casi finales de siglo, nadie pensó en

[22] J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, pp. 161-163 [en la traducción española, *Historia de la química*, cap. VIII, Parte III, segunda sección].

generalizarlas. Dados los obvios contraejemplos, como la sal en agua o el vidrio, no era posible generalización alguna sin abandonar antes la teoría de la afinidad y repensar los límites del dominio de la química. Las consecuencias se volvieron explícitas al final mismo del siglo en un famoso debate entre los químicos franceses Proust y Berthollet. El primero pretendía que todas las reacciones químicas se producían en proporciones fijas, mientras que el segundo lo negaba. Cada uno de ellos reunía a favor de su punto de vista una impresionante cantidad de elementos de juicio experimentales. Con todo, ambos mantenían sin remedio un diálogo de sordos, por lo que su debate era por completo inconcluyente. Allí donde Berthollet veía un compuesto que podía variar en las proporciones, Proust no veía sino una mezcla física.[23] Para esta disputa no servía ni la experimentación ni un cambio en la convención definitoria. Ambos químicos sufrían de un malentendido tan fundamental como el que caracterizaba a Galileo y Aristóteles.

Tal era la situación en los años en que Dalton emprendió las investigaciones que llevaron finalmente a su famosa teoría química atómica. Pero hasta los últimos estadios de dichas investigaciones, Dalton ni era químico ni se interesaba por la química. Era por el contrario un meteorólogo que investigaba lo que para él eran los problemas físicos de la absorción de gases por el agua y del agua por la atmósfera. En parte debido a que se había formado en una especialidad distinta y en parte

[23] A. N. Meldrum, "The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet's Doctrine of Variable Proportions", *Manchester Memoirs*, LIV (1910), pp. 1-16.

debido a su propio trabajo en dicha especialidad, abordaba tales problemas con un paradigma distinto del de los químicos contemporáneos. En particular, veía la mezcla de gases o la absorción de un gas en agua como un proceso físico en el que no desempeñaban función alguna las fuerzas de afinidad. Por consiguiente, para él la homogeneidad observada de las soluciones constituía un problema, si bien creía poder resolverlo en caso de conseguir determinar los tamaños y pesos relativos de las diversas partículas atómicas de sus mezclas experimentales. Para determinar tales tamaños y pesos, Dalton terminó acudiendo a la química, suponiendo desde el principio que, en el campo restringido de reacciones que tenía por químicas, los átomos sólo se podían combinar uno a uno o en alguna otra razón simple entre números enteros.[24] Esta suposición natural le permitió determinar los tamaños y pesos de las partículas elementales, aunque también convirtió en una tautología la ley de las proporciones constantes. Para Dalton, cualquier reacción cuyos ingredientes no entraran en proporciones fijas, *ipso facto* no era un proceso químico puro. Así, esa ley que los experimentos no podrían haber establecido antes de la obra de Dalton, una vez que tal obra se aceptó, se convirtió en un principio constituyente que ningún conjunto de mediciones químicas podría haber perturbado. Como resultado de lo que tal vez sea nuestro ejemplo más completo de revolución científica, las mismas manipulaciones químicas establecieron una rela-

[24] L. K. Nash, "The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory", *Isis*, XLVII (1956), pp. 101-116.

ción con las generalizaciones químicas muy distinta de la que antes habían mantenido.

Ni que decir tiene que las conclusiones de Dalton fueron ampliamente atacadas cuando se propusieron por vez primera. Berthollet, en particular, nunca se dejó convencer. Teniendo en cuenta la naturaleza de la cuestión, no tenía por qué haberlo hecho. Mas, para la mayoría de los químicos, el nuevo paradigma de Dalton resultó convincente allí donde Proust no lo había sido, pues poseía unas implicaciones mucho más amplias y de mayor alcance que un mero criterio nuevo para distinguir una mezcla de un compuesto. Si, por ejemplo, los átomos sólo pudiesen combinarse químicamente en razones simples de enteros, entonces el reexamen de los datos químicos existentes mostraría ejemplos de proporciones múltiples además de fijas. Los químicos dejaron de escribir que los dos óxidos, digamos del carbono, contenían 56 y 72% de oxígeno en peso, escribiendo a cambio que un peso de carbono se combinaría o bien con 1.3 o con 2.6 pesos de oxígeno. Al registrar de este modo los resultados de las viejas manipulaciones, saltaba a la vista la razón 2:1, cosa que ocurría en el análisis de muchas reacciones perfectamente conocidas así como en el de otras nuevas. Además, el paradigma de Dalton hacía posible asimilar el trabajo de Richter y ver su plena generalidad. Asimismo sugería nuevos experimentos, en especial los de Gay-Lussac sobre los volúmenes de combinación que ofrecían a su vez otras regularidades en las que los químicos ni siquiera habían soñado con anterioridad. Lo que los químicos tomaron de Dalton no fueron nuevas leyes experimentales, sino una nueva manera

de practicar la química (él mismo la denominó el "nuevo sistema de filosofía química"), la cual resultó fecunda con tanta rapidez que sólo fueron capaces de resistirse a ella unos cuantos de los viejos químicos franceses y británicos.[25] Como resultado de ello, los químicos pasaron a vivir en un mundo en el que las reacciones se conducían de modo muy distinto a como lo habían hecho antes.

A medida que ocurrían estas cosas, se produjo otro cambio típico y muy importante. Aquí y allá los propios datos numéricos de la química empezaron a cambiar. Cuando Dalton repasó inicialmente la bibliografía química en busca de datos que apoyaran su teoría física, encontró algunos registros de reacciones que encajaban, pero difícilmente podría haber dejado de hallar otros que no lo hacían. Las propias mediciones de Proust de los dos óxidos de cobre daban, por ejemplo, una razón en peso con el oxígeno de 1.47:1 en lugar del 2:1 exigido por la teoría atómica, siendo Proust precisamente la persona de quien cabría esperar que obtuviese la razón daltoniana.[26] De hecho, era un fino experimentador y sus opiniones atinentes a las relaciones entre mezclas y compuestos estaban muy próximas a las de Dalton. Mas resulta difícil hacer que la naturaleza encaje en un paradigma. Por eso los rompecabezas de la

[25] A. N. Meldrum, "The Development of the Atomic Theory: (6) The Reception Accorded to the Theory Advocated by Dalton", *Manchester Memoirs*, LV (1911), pp. 1-10.

[26] Para Proust, véase Meldrum, "Berthollet's Doctrine of Variable Proportions", *Manchester Memoirs*, LIV (1910), p. 8. La historia detallada de los cambios graduales en las mediciones de la composición química y de los pesos atómicos está aún por escribir, aunque Partington, en *A Short History of Chemistry*, ofrece muchas pistas útiles.

ciencia normal resultan tan provocadores y por eso también las mediciones emprendidas sin un paradigma rara vez llevan a conclusión alguna. Por consiguiente, los químicos no podían aceptar tranquilamente la teoría de Dalton dados los elementos de juicio, pues en gran parte eran negativos. Por el contrario, incluso una vez aceptada la teoría, aún tenían que meter en cintura a la naturaleza, un proceso que acabó por llevarse casi otra generación. Cuando finalmente se consiguió, incluso la composición porcentual de compuestos de sobra conocidos era distinta. Los propios datos habían cambiado. Éste es el último de los sentidos en los que podemos estar dispuestos a afirmar que, tras una revolución, los científicos trabajan en un mundo distinto.

XI. LA INVISIBILIDAD DE LAS REVOLUCIONES

Hemos de preguntarnos aún cómo se resuelven las revoluciones. Con todo, antes de ello parece obligado el intento de asegurar la convicción acerca de su existencia y naturaleza. Hasta ahora he intentado mostrar las revoluciones mediante ejemplos, los cuales podrían multiplicarse hasta el hartazgo. Sin embargo, la mayoría de ellos, seleccionados deliberadamente por su familiaridad, no se han tenido de ordinario por revoluciones, sino por adiciones al conocimiento científico. Podría expresarse igualmente esta misma opinión de cualesquiera ejemplos adicionales, por lo que probablemente resultarían inefectivos. Sugiero que existen excelentes razones por las cuales las revoluciones han resultado ser casi invisibles. Tanto los científicos como los legos toman en gran parte la imagen que tienen de la actividad científica creadora de una fuente autorizada que oculta sistemáticamente la existencia y el significado de las revoluciones científicas, en parte por razones funcionales importantes. Sólo se puede aspirar a hacer plenamente efectivos los ejemplos históricos si se reconoce y analiza la naturaleza de dicha autoridad. Además, si bien este punto sólo se podrá desarrollar plenamente en el capítulo final [XIII], el análisis ahora necesario empezará a señalar uno de los aspectos del trabajo científico que más claramente lo distingue de cualquier otra tarea creadora, exceptuando tal vez a la teología.

Como fuente de esta autoridad, pienso principalmente en los libros de texto científicos junto con las divulgaciones y las obras filosóficas que los toman como modelo. Estas tres categorías (hasta hace poco no había otras fuentes significativas de información acerca de la ciencia, excepto la práctica de la investigación) tienen todas ellas una cosa en común. Se remiten a un cuerpo ya articulado de problemas, datos y teoría; normalmente al conjunto particular de paradigmas con el que la comunidad científica está comprometida en el momento en que se escriben. Los propios libros de texto tienen por misión comunicar el vocabulario y la sintaxis de un lenguaje científico contemporáneo; las obras de divulgación tratan de describir esas mismas aplicaciones en un lenguaje más próximo al de la vida diaria, y finalmente la filosofía de la ciencia, en particular la del mundo de habla inglesa, analiza la estructura lógica de ese mismo cuerpo acabado de conocimientos científicos. Si bien un tratamiento pleno de la cuestión exigiría ocuparse de las diferencias reales que median entre estos tres géneros, lo que aquí más nos interesa son sus semejanzas. Los tres registran el *resultado* estable de las revoluciones pretéritas, mostrando de ese modo las bases de la tradición de la ciencia normal vigente. Para cumplir su función, no precisan suministrar información auténtica acerca del modo en que tales bases fueron primero reconocidas y luego aceptadas por la profesión. En el caso de los libros de texto al menos, incluso existen buenas razones por las que deben ser sistemáticamente engañosos en estas cuestiones.

En el capítulo II señalamos que la creciente confianza en los libros de texto era un elemento que acompañaba de manera invariable al surgimiento de un primer paradigma en cualquier campo científico. El último capítulo de este ensayo defenderá que el control de una ciencia madura por parte de dichos libros de texto es algo que distingue de manera significativa su patrón de desarrollo del de otros campos. Por el momento, limitémonos a dar por sentado que, hasta un punto sin precedentes en otros terrenos, tanto el conocimiento que las personas ordinarias tienen de la ciencia como el que poseen quienes la practican se basa en libros de texto y en unos cuantos tipos de escritos derivados de ellos. Con todo, al ser vehículos pedagógicos de la perpetuación de la ciencia normal, los libros de texto han de escribirse de nuevo, en todo o en parte, cada vez que cambia la estructura de los problemas o las reglas de la ciencia normal. Dicho brevemente, deben escribirse de nuevo después de cada revolución científica y, una vez reescritos, enmascaran inevitablemente no sólo la función, sino la existencia misma de las revoluciones que los han producido. A menos que haya experimentado personalmente una revolución en su propia época, el sentido histórico del científico activo o del individuo ordinario que lee libros de texto se extiende exclusivamente al resultado de las revoluciones más recientes del campo.

Así pues, los libros de texto comienzan truncando el sentido histórico que tiene el científico *de su propia disciplina, procediendo a continua*ción a ofrecer un sucedáneo de aquello que ha eliminado. Es típico que los libros de texto incluyan un poquito de historia, sea en un capítulo

introductorio o, más frecuentemente, en referencias dispersas a los grandes héroes de las épocas pasadas. A partir de tales referencias, tanto los estudiantes como los profesionales llegan a sentirse como si participaran en de una tradición histórica muy antigua. No obstante, la tradición derivada de los libros de texto de la que los científicos llegan a sentirse partícipes nunca ha existido. Por razones obvias y muy funcionales, los libros de texto científicos (y demasiadas de las antiguas historias de la ciencia) aluden tan sólo a aquellas partes del trabajo de los científicos del pasado que puedan verse fácilmente como contribuciones al planteamiento y solución de los problemas paradigmáticos del texto. En parte por selección y en parte por distorsión, los científicos de épocas pasadas se presentan implícitamente como si hubiesen trabajado en el mismo conjunto de problemas fijos y de acuerdo con el mismo conjunto de cánones fijos que se antojan como científicos según la más reciente revolución de la teoría y el método de la ciencia. No es de extrañar que los libros de texto y la tradición histórica que entrañan hayan de escribirse de nuevo tras cada revolución científica. Tampoco resulta sorprendente que, en virtud de esta nueva escritura, la ciencia se muestre una vez más como algo en gran medida acumulativo.

Por supuesto, los científicos no constituyen el único grupo que tiende a ver que el pasado de su disciplina progresa linealmente hacia su actual posición dominante. La tentación de escribir la historia hacia atrás es omnipresente y perenne, mas los científicos se ven más afectados por la tentación de escribir de nuevo la historia, en parte porque los resultados de la investigación científica no muestran una dependencia obvia del contexto histórico de la indagación y en parte porque, excepto durante las crisis y las revoluciones, la posición contemporánea de los científicos parece muy segura. Introducir más detalles históricos, sea de la ciencia presente o de su pasado, o atribuir una mayor responsabilidad a los detalles históricos que se presentan, sólo serviría para conferir una importancia artificial a la idiosincrasia, error y confusión humanos. ¿Por qué se habría de dignificar aquello que los esfuerzos mejores y más persistentes de la ciencia han permitido descartar? La depreciación de los hechos históricos está profunda y tal vez funcionalmente enraizada en la ideología de la profesión científica, la misma profesión que confiere el máximo valor a detalles fácticos de otros tipos. Whitehead captó el espíritu ahistórico de la comunidad científica cuando escribió, "La ciencia que titubea a la hora de olvidar a sus fundadores está perdida". Sin emabrgo, no estaba del todo en lo cierto, pues las ciencias, al igual que otras empresas profesionales, tienen necesidad de sus héroes y de preservar sus nombres. Afortunadamente, en lugar de olvidar a estos héroes, los científicos han logrado olvidar o revisar sus obras.

El resultado de ello es una tendencia pertinaz a hacer que la historia de la ciencia parezca lineal o acumulativa, una tendencia que afecta incluso a los científicos cuando consideran su propia investigación pasada. Por ejemplo, las tres explicaciones incompatibles que dio Dalton del desarrollo de su atomismo químico daban a entender que estaba interesado desde una época temprana precisamente en aquellos problemas químicos re-

lativos a las proporciones de las combinaciones, gracias a cuya solución se hizo luego famoso. De hecho, esos problemas parecen habérsele ocurrido solamente con sus soluciones y, en cualquier caso, no hasta que estuvo casi terminado su trabajo creador.[1] Lo que omiten todas las explicaciones de Dalton son los efectos revolucionarios de aplicar a la química un conjunto de cuestiones y conceptos que anteriormente se limitaban a la física y a la meteorología. Eso es lo que hizo Dalton, y el resultado de ello fue una reorientación del campo, reorientación que enseñó a los químicos a plantear nuevas preguntas y extraer nuevas conclusiones de los viejos datos.

Lo mismo se puede decir de Newton, quien escribió que Galileo había descubierto que la fuerza constante de la gravedad produce un movimiento proporcional al cuadrado del tiempo. De hecho, el teorema cinemático de Galileo sólo cobra esa forma cuando se encuentra engastado en la matriz de los conceptos dinámicos del propio Newton. Galileo, sin embargo, nunca dijo nada por el estilo. Su tratamiento de los cuerpos que caen rara vez hace alusión a las fuerzas, por no hablar de una fuerza gravitatoria uniforme que provoque la caída de los cuerpos.[2] Al atribuir a Galileo la respuesta a una pregunta que los paradigmas de Galileo no le permitían plantear, la explicación de Newton oculta el efecto de una reformulación pequeña aunque revolucionaria en las preguntas que se planteaban los científicos acerca del movimiento, no menos que en las respuestas que se consideraban capaces de aceptar. Pero es precisamente ese tipo de cambio en la formulación de preguntas y respuestas lo que explica, en mayor medida que los nuevos descubrimientos empíricos, la transición de la dinámica aristotélica a la galileana, así como de la galileana a la newtoniana. Al enmascarar tales cambios, la tendencia de los libros de texto a presentar el desarrollo de la ciencia de manera lineal oculta un proceso que late en el seno de los episodios más significativos del desarrollo científico.

Los ejemplos precedentes muestran, en el contexto de una sola revolución, los comienzos de una reconstrucción de la historia que se completa con regularidad en los textos científicos posrevolucionarios. Con todo, en esta tarea de completar la reconstrucción de la historia está implicado algo más que la mera multiplicación de las deformaciones históricas antes ilustradas. Esas distorsiones hacen invisibles las revoluciones, y la reorganización del material aún visible en los textos científicos entraña un proceso que, de producirse, privaría de función a las revoluciones. Puesto

[1] L. K. Nash, "The Origins of Dalton's Chemical Atomic Theory", *Isis*, XLVII (1956), pp. 101-116.

[2] Para las observaciones de Newton, véase Florian Cajori (ed.), *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World* (Berkeley, California, 1946), p. 21 [edición española de Eloy Rada, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Madrid, Alianza, 1987, vol. I, pp. 145-146]. El pasaje debería confrontarse con el propio tratamiento que hace de la cuestión Galileo en sus *Dialogues Concerning Two New Sciences*, H. Crew y A. de Salvio (trads.) (Evanston, Illinois, 1947), pp. 154-176 [hay traducción española, *Consideraciones y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias*, Madrid, Editora Nacional, 1976; véanse las pp. 284-302, correspondientes a las pp. 202-214 del volumen VIII de *Le Opere di Galileo Galilei* editadas por A. Favaro].

que los textos tienen como finalidad familiarizar rápidamente al estudiante con lo que la comunidad científica contemporánea cree conocer, tratan los diferentes experimentos, conceptos, leyes y teorías de la ciencia normal establecida lo más disociada y lo más sucesivamente que se pueda. Como herramienta pedagógica, esta técnica de presentación es inobjetable. Pero si se combina con el aire generalmente ahistórico de los escritos científicos y con las ocasionales deformaciones sistemáticas discutidas antes, tiende a imponerse poderosamente una firme impresión: la ciencia ha alcanzado su estado actual gracias a una serie de descubrimientos e inventos individuales que, cuando se reúnen, constituyen el cuerpo moderno de conocimiento técnico. La presentación del libro de texto entraña que los científicos se han afanado desde el comienzo de la empresa científica en pos de los objetivos particulares incorporados en los paradigmas de hoy en día. Uno tras otro, en un proceso que a menudo se compara con añadir ladrillos a un edificio, los científicos han aportado otro hecho, otro concepto, otra ley u otra teoría al cuerpo de información ofrecido en el texto científico contemporáneo.

Pero no es ése el modo en que se desarrolla la ciencia. Muchos de los rompecabezas de la ciencia normal contemporánea no existieron hasta después de las revoluciones científicas más recientes. Muy pocos de ellos pueden retrotraerse hasta los comienzos históricos de la ciencia en la que ahora aparecen. Las generaciones anteriores se plantearon sus propios problemas con sus propios instrumentos y sus propios cánones de solución. Lo que ha cambiado es más bien todo el entramado de hecho y teoría que el paradigma del libro de texto hace encajar con la naturaleza. ¿Acaso es la constancia de la composición química, por ejemplo, un mero hecho de la experiencia que los químicos podrían haber descubierto mediante la experimentación en cualquiera de los mundos en los que han trabajado los químicos? ¿O acaso lo que Dalton encajó en la primitiva experiencia química global, transformando dicha experiencia en el proceso, no fue más bien un elemento (indudable para el caso) de un nuevo tejido de hechos y teorías? O, de igual modo, ¿acaso la aceleración constante producida por una fuerza constante es un mero hecho que los estudiosos de la dinámica han buscado siempre, o se trata más bien de la respuesta a una pregunta que surgió por vez primera tan sólo en el seno de la teoría newtoniana y que dicha teoría podría responder a partir del cuerpo de información disponible antes de que se planteara la pregunta?

Estas preguntas se plantean aquí acerca de lo que parecen ser hechos descubiertos uno a uno, según la presentación de los libros de texto. Pero, como es obvio, poseen también implicaciones para lo que el texto presenta como teorías. Dichas teorías "encajan con los hechos", por supuesto, pero eso es así sólo porque toman la información previamente accesible y la transforman en hechos que no existían en absoluto para el paradigma anterior. Y ello significa que las teorías no se desarrollan paso a paso para encajar con los hechos que estaban ahí todo el tiempo, sino que más bien surgen junto con los hechos a los que se adecuan a partir de una reformulación revolucionaria de la tradición científica precedente, una tra-

dición en cuyo seno no regía en absoluto la misma relación mediada por el conocimiento entre el científico y la naturaleza.

Un último ejemplo clarificará esta explicación del impacto de la presentación de los libros de texto sobre nuestra imagen del desarrollo científico. Todo texto elemental de química ha de tratar el concepto de elemento químico. Cuando se introduce esta noción, casi siempre se atribuye su origen al químico del siglo XVII Robert Boyle, en cuyo *Sceptical Chymist* el lector atento hallará una definición de "elemento" muy próxima a la que hoy en día se usa. La referencia a la contribución de Boyle hace que el neófito sea consciente de que la química no comenzó con las sulfamidas. Además, le enseña que una de las tareas tradicionales del científico es inventar conceptos de este tipo. La atribución resulta un método tremendamente útil como parte del arsenal pedagógico que convierte a alguien en científico. Sin embargo, ilustra una vez más el patrón de errores históricos que engaña a los estudiantes y a las personas ordinarias acerca de la naturaleza de la empresa científica.

Según Boyle, que estaba completamente en lo cierto, su "definición" de elemento no era sino una paráfrasis de un concepto químico tradicional. Boyle lo presentaba con el único fin de argüir que no existen los elementos químicos. La versión que presentan los libros de texto de la contribución de Boyle está totalmente equivocada desde el punto de vista histórico.[3] Por supuesto, este error resulta trivial, aunque no más que cualquier otro falsamiento de los datos. Lo que no es trivial, no obstante, es la impresión que se da de la ciencia cuando este tipo de errores se combinan y se incorporan a la estructura técnica del texto. Como "tiempo", "energía", "fuerza" o "partícula", el concepto de elemento es un tipo de ingrediente del libro de texto que muy a menudo ni se inventa ni se descubre en absoluto. En concreto, la definición de Boyle se puede retrotraer al menos hasta Aristóteles y se puede seguir hasta los textos modernos pasando por Lavoisier. Sin embargo, eso no quiere decir que la ciencia haya estado en posesión del moderno concepto de elemento desde la antigüedad. Las definiciones verbales como la de Boyle poseen escaso contenido científico cuando se consideran en sí mismas. No son especificaciones del significado plenamente lógicas (si es que existen) sino más bien ayudas pedagógicas. Los conceptos científicos a los que apuntan sólo cobran pleno significado cuando se relacionan, en el texto o en otra presentación sistemática, con otros conceptos científicos, con procedimientos de manipulación y con aplicaciones paradigmáticas. De ahí se sigue que los conceptos como el de elemento difícilmente se pueden inventar con independencia del contexto. Además, dado el contexto, rara vez hace falta inventarlos, puesto que ya se encuentran a la mano. Tanto Boyle como Lavoisier cambiaron el significado del "elemento" de manera importante. Sin embargo, no inventaron la noción y ni siquiera cambiaron la fórmula verbal que le sirve de definición. Como hemos visto, tampoco Einstein tuvo que inventar o siquiera redefinir explícitamen-

[3] T. S. Kuhn, "Robert Boyle and Structural Chemistry in Seventeenth Century", *Isis*, XLIII (1952), pp. 26-29.

te "tiempo" y "espacio" a fin de conferirles un nuevo significadó en el contexto de su obra.

¿Cuál fue entonces la función histórica de Boyle en esa parte de su obra que incluye la famosa "definición"? Era el adalid de una revolución científica que, al cambiar la relación de "elemento" con la manipulación química y con la teoría química, transformó dicha noción en una herramienta muy diferente de la que había sido antes, y en el proceso cambió tanto la química como el mundo del químico.[4] Fueron precisas otras revoluciones, incluyendo la que se centra en torno a Lavoisier, para conferir al concepto su forma y función modernas. Pero Boyle suministra un ejemplo típico tanto de los procesos implicados en cada una de estas etapas como de lo que le ocurre a dicho proceso cuando el conocimiento existente se incorpora a un libro de texto. Esta forma pedagógica ha determinado, más que cualquier otro aspecto aislado de la ciencia, nuestra imagen de la naturaleza de la ciencia y de la función del descubrimiento y de la invención en su avance.

[4] Marie Boas, en su libro *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), se ocupa en muchos lugares de las contribuciones positivas de Boyle a la evolución del concepto de elemento químico.

XII. LA RESOLUCIÓN DE LAS REVOLUCIONES

Los LIBROS de texto de los que hemos estado hablando sólo se producen como consecuencia de una revolución científica y son el fundamento de una nueva tradición de ciencia normal. Al abordar el problema de su estructura, hemos dejado claramente de lado un paso. ¿Cuál es el proceso mediante el cual un nuevo candidato a paradigma sustituye a su predecesor? Cualquier interpretación nueva de la naturaleza, sea un descubrimiento o una teoría, surge en primer lugar en la mente de una o de unas cuantas personas. Son ellas las primeras que aprenden a ver la ciencia y el mundo de manera distinta, y su capacidad para realizar la transición se ve favorecida por dos circunstancias que no son comunes a la mayoría de los demás miembros de su profesión. Invariablemente su atención se ha centrado intensamente en los problemas que han provocado la crisis; y usualmente son además individuos lo bastante jóvenes o lo bastante recién llegados al campo sacudido por la crisis como para que la práctica no los haya comprometido tan profundamente como a la mayoría de sus contemporáneos con la visión del mundo y las reglas determinadas por el viejo paradigma. ¿Cómo pueden ser capaces de convertir a toda la profesión o al subgrupo profesional pertinente a su modo de ver la ciencia y el mundo? ¿Qué es lo que han de hacer para ello? ¿Qué es lo que hace que el grupo abandone

un tradición de investigación normal en favor de otra?

Para captar la perentoriedad de estas preguntas, recuérdese que son las únicas reconstrucciones que puede ofrecer el historiador para responder a la investigación del filósofo acerca de la contrastación, la verificación o la falsación de las teorías científicas establecidas. En la medida en que está dedicado a la ciencia normal, el investigador es una persona que resuelve rompecabezas y no alguien que se dedica a contrastar paradigmas. Si bien es posible que, mientras busca la solución de un rompecabezas particular, ensaye un cierto número de enfoques alternativos, rechazando aquellos que no arrojan el resultado apetecido, cuando lo hace no está contrastando el *paradigma*. Por el contrario, se asemeja más bien al jugador de ajedrez que, al enfrentarse a un problema con el tablero ante sí, física o mentalmente, ensaya diversas jugadas alternativas en busca de una solución. Estas pruebas, sean las del jugador del ajedrez o las del científico, son pruebas únicamente de ellos mismos, no de las reglas de juego. Sólo son posibles en la medida en que se dé por sentado el propio paradigma. Por consiguiente, la contrastación del paradigma sólo se da después de que un fracaso persistente a la hora de resolver un rompecabezas notable haya dado lugar a una crisis. E incluso entonces, sólo se da después de que el sentimiento de crisis haya hecho surgir un candidato a paradigma alternativo. En las ciencias, la situación contrastadora nunca consiste sencillamente en la comparación de un único paradigma con la naturaleza, como ocurre con la resolución de rompecabezas. Por el contrario, la contrastación se da como

parte de la competencia entre dos paradigmas rivales por la confianza de la comunidad científica.

Si se examina de cerca, esta formulación muestra paralelismos inesperados y probablemente significativos con dos de las teorías filosóficas contemporáneas más populares acerca de la verificación. Pocos filósofos de la ciencia buscan aún criterios absolutos para la verificación de las teorías científicas. Al darse cuenta de que ninguna teoría puede verse jamás expuesta a todas las pruebas relevantes posibles, no se preguntan si una teoría ha sido verificada, sino que se preguntan más bien por su probabilidad a la luz de los elementos de juicio actualmente existentes. Para responder a esta pregunta, una importante escuela se ve llevada a comparar la capacidad de distintas teorías para explicar los elementos de juicio disponibles. Esta insistencia en la comparación de teorías caracteriza también a la situación histórica en la que se acepta una nueva teoría. Apunta muy probablemente a uno de los derroteros por el que deberían proceder las futuras discusiones acerca de la verificación.

Con todo, en su forma más común, las teorías de la verificación probabilística recurren todas ellas a uno u otro de los lenguajes de observación puros o neutrales discutidos en el capítulo x. Una teoría probabilística nos pide que comparemos la teoría científica dada con todas las demás imaginables para cubrir la misma colección de datos observacionales. Otra pide la construcción imaginaria de todas las pruebas que podamos concebir que debería superar la teoría científica dada.[1] Por

[1] Para un breve bosquejo de las vías principales que condu-

lo que parece, se necesita alguna construcción de este tipo para computar las probabilidades específicas, absolutas o relativas, y resulta difícil ver de qué manera podría llevarse a cabo semejante construcción. Si, como ya he argumentado, no puede haber un sistema lingüístico o conceptual que sea científica o empíricamente neutral, entonces la construcción propuesta de pruebas y teorías alternativas ha de proceder del interior de una u otra de las tradiciones basadas en un paradigma. Con tal restricción, no podría tener acceso a todas las experiencias posibles o a todas las teorías posibles. Como resultado de ello, las teorías probabilísticas enmascaran tanto como iluminan la situación en que se plantea la verificación. Aunque, como subrayan, esa situación depende de la comparación de teorías y de elementos de juicio muy amplios, las teorías y observaciones implicadas están siempre íntimamente relacionadas con las que ya existen. La verificación es como la selección natural, por cuanto que elige la alternativa más viable de entre las que de hecho existen en una situación histórica particular. No tiene el menor sentido preguntarse si esa elección sería la mejor que se hubiera podido hacer en caso de haber otras alternativas disponibles o en caso de que los datos hubiesen sido de otro tipo. No disponemos de herramienta alguna para tratar de responder a tales preguntas.

Karl R. Popper ha desarrollado un modo muy distinto de enfocar todo este entramado de problemas al negar la existencia de cualquier procedimiento de verificación.[2] En lugar de ello, subraya la importancia de la falsación, es decir, de las pruebas que, al tener un resultado negativo, exigen el rechazo de una teoría establecida. Está claro que la función así atribuida a la falsación se asemeja mucho a la que este ensayo atribuye a las experiencias anómalas, esto es, a las experiencias que, al provocar una crisis, preparan el camino a una nueva teoría. No obstante, las experiencias anómalas no pueden identificarse con las falsadoras. En realidad dudo de que estas últimas existan. Como se ha subrayado ya hasta la saciedad, ninguna teoría resuelve nunca todos los rompecabezas a que se enfrenta en un momento dado, ni son a menudo perfectas las soluciones ya obtenidas. Por el contrario, es precisamente el carácter incompleto e imperfecto del acuerdo existente entre teoría y hechos el que, en todo momento, define muchos de los rompecabezas que caracterizan a la ciencia normal. Si todos y cada uno de los desacuerdos entre hechos y teoría fuesen motivo suficiente para rechazar la teoría, todas ellas deberían rechazarse en todo momento. Por otro lado, si el rechazo sólo se justifica por un desacuerdo serio, entonces los popperianos necesitarán algún criterio de "improbabilidad" o de "grado de falsación". Pero si tratan de desarrollarlo, se encontrarán casi con toda seguridad con la misma maraña de dificultades que ha asolado a los defensores de las diversas teorías probabilísticas de la verificación.

cen a las teorías probabilísticas de la verificación, véase Ernest Nagel, *Principles of the Theory of Probability*, vol. I, núm. 6, de la *International Encyclopedia of Unified Science*, pp. 60-75.

[2] K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (Nueva York, 1959), esp. caps. I-IV [hay traducción española, *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos, 1962 y reediciones].

Muchas de las dificultades precedentes pueden evitarse reconociendo que esas dos doctrinas dominantes y opuestas acerca de la lógica subyacente a la investigación científica han intentado fundir en uno dos procesos en gran medida independientes. La experiencia anómala de Popper es importante para la ciencia porque alienta a los competidores de un paradigma existente. Pero la falsación, por más que sin duda se dé, no se produce con el surgimiento (o simplemente debido al surgimiento) de una anomalía o de un caso falsador. Por el contrario, se trata de un proceso subsiguiente y separado que muy bien podría llamarse también verificación, dado que consiste en el triunfo de un nuevo paradigma sobre el viejo. Además, la comparación probabilística de las teorías desempeña una función central precisamente en ese proceso simultáneo de verificación y falsación. Creo que esta formulación en dos etapas posee la virtud de ser muy verosímil, permitiéndonos además empezar a explicar la función del acuerdo (o del desacuerdo) entre hechos y teorías en el proceso de verificación. Al menos para el historiador, tiene poco sentido sugerir que la verificación es establecer el acuerdo entre hechos y teoría. Todas las teorías históricamente significativas han concordado con los hechos, aunque sólo más o menos. No hay una respuesta más precisa a la pregunta cerca de si una teoría concreta encaja, o de cómo encaja de bien, con los hechos. Pero se pueden plantear preguntas parecidas si las teorías se toman colectivamente o incluso por parejas. Tiene mucho sentido preguntar cuál de dos teorías rivales de hecho cuadra *mejor* con los hechos. Así por ejemplo, aunque ni la teoría de

Priestley ni la de Lavoisier concordaban exactamente con las observaciones existentes, pocos contemporáneos dudaron más de una década antes de concluir que la teoría de Lavoisier era la que ofrecía un mejor acuerdo de ambas.

No obstante, esta manera de exponer las cosas hace que la tarea de elegir entre distintos paradigmas parezca más fácil y más familiar de lo que en realidad es. Si no hubiese más que un conjunto de problemas científicos, un único mundo en el que trabajar sobre ellos y un solo conjunto de normas para solucionarlos, la competencia entre los paradigmas podría resolverse de manera más o menos rutinaria por algún proceso del estilo de contar el número de problemas resuelto por cada uno de ellos. Mas, de hecho, tales condiciones nunca se dan plenamente. Quienes proponen paradigmas rivales siempre mantienen hasta cierto punto un diálogo de sordos. Ninguna de las partes aceptará las suposiciones no empíricas que precisa la otra para defender su punto de vista. Como Proust y Berthollet cuando discutían acerca de la composición de los compuestos químicos, están abocados en parte a hablar sin entenderse. Por más que cada una de las partes quiera convertir a la otra a su manera de ver la ciencia y sus problemas, ninguna de ellas puede aspirar a probar su punto de vista. La competencia entre paradigmas no es el tipo de batalla que se pueda resolver mediante pruebas.

Ya hemos visto algunas de las razones por las que los partidarios de paradigmas rivales han de fracasar a la hora de establecer un contacto completo con el punto de vista del otro. Colectivamente estas razones se han descrito como la in-

conmensurabilidad de las tradiciones científicas normales anteriores y posteriores a una revolución, por lo que bastará con que las recapitulemos aquí brevemente. En primer lugar, los partidarios de paradigmas rivales estarán a menudo en desacuerdo acerca de la lista de problemas que ha de resolver un candidato a paradigma. Sus normas o sus definiciones de ciencia no son las mismas. ¿Una teoría del movimiento debe explicar la causa de las fuerzas de atracción entre las partículas materiales o debe limitarse a constatar la existencia de dichas fuerzas? La dinámica newtoniana fue ampliamente rechazada porque, frente a las teorías tanto de Descartes como de Aristóteles, implicaba el segundo tipo de respuesta a la pregunta. Y una vez que se aceptó la teoría de Newton, la consecuencia fue la abolición de una pregunta del campo de la ciencia. Con todo, ésa es la pregunta que la teoría general de la relatividad puede vanagloriarse de haber respondido. O también, a medida que la teoría química de Lavoisier se difundió por el siglo XIX, hizo que los químicos no se planteasen la pregunta acerca de por qué los metales son tan semejantes, pregunta que la teoría del flogisto se había planteado y había resuelto. A la manera de la transición al paradigma de Newton, la transición al de Lavoisier significó la pérdida no sólo de una pregunta permisible, sino la de una solución alcanzada. Sin embargo, tampoco se trataba de una pérdida permanente. En el siglo XX, han entrado de nuevo a formar parte de la ciencia las preguntas acerca de las cualidades de las sustancias químicas junto con algunas respuestas.

No obstante hay más cosas implicadas que la

inconmensurabilidad de las normas. Dado que los nuevos paradigmas nacen de los viejos, por lo común incorporan gran parte del vocabulario y del aparato, tanto conceptual como manual, que había usado antes el paradigma tradicional, si bien rara vez utilizan esos elementos prestados exactamente a la manera tradicional. En el seno de los nuevos paradigmas, los viejos términos, conceptos y experimentos entran en nuevas relaciones mutuas. El resultado inevitable de ello es lo que podríamos llamar, por más que la expresión no sea del todo correcta, un malentendido entre las dos escuelas rivales. Los legos que hacían burla de la teoría general de Einstein porque el espacio no podía ser "curvo" (no era el tipo de entidad que pudiera ser tal cosa), no estaban simplemente errados o equivocados. Tampoco lo estaban los matemáticos, físicos y filósofos que trataron de desarrollar una versión euclidea de la teoría de Einstein.[3] Lo que anteriormente se había entendido por espacio era algo necesariamente plano, homogéneo, isotrópico e inafectado por la presencia de la materia. De no haber sido así, la física newtoniana no hubiera funcionado. Para realizar la transición al universo de Einstein todo el entramado conceptual cuyas hebras eran el espacio, el tiempo, la materia, la fuerza, etc., tenían

[3] Para la reacción de las personas comunes a la idea de espacio curvo, véase Philipp Frank, *Einstein, His Life and Times*, G. Rosen y S. Kusaka (trads. y eds.) (Nueva York, 1947), pp. 142-146 [hay traducción española, *Einstein*, Barcelona, José Janés, 1949]. Para una panorámica de los intentos de preservar las ventajas de la relatividad general dentro de un espacio euclideo, véase C. Nordmann, *Einstein and the Universe*, J. McCabe (trad.) (Nueva York, 1922), cap. IX.

que cambiar y establecerse de nuevo en un todo natural. Sólo las personas que hubieran sufrido o dejado de sufrir juntos dicha transformación serían capaces de descubrir exactamente en qué estaban de acuerdo o en qué discrepaban. La comunicación a través de la frontera marcada por la revolución es inevitablemente parcial. Consideremos, por tomar otro ejemplo, a las personas que llamaban loco a Copérnico por decir que la Tierra se movía. No es simplemente que estuviesen equivocados o muy equivocados, pues parte de lo que querían decir con "Tierra" implicaba una posición fija. Su Tierra, al menos, no se podía mover. Por consiguiente la innovación de Copérnico no fue solamente la de mover la Tierra, sino que entrañaba más bien un modo completamente nuevo de ver los problemas de la física y la astronomía, el cual cambiaba por necesidad tanto el significado de *Tierra* como el de *movimiento*.[4] Sin estos cambios, la idea de una Tierra en movimiento era una locura. Por otra parte, una vez introducidos y comprendidos, tanto Descartes como Huygens podrían darse cuenta de que el movimiento terrestre era un problema sin contenido científico.[5]

Estos ejemplos apuntan a un tercer aspecto muy importante de la inconmensurabilidad de los paradigmas rivales. En un cierto sentido que soy incapaz de explicar mejor, quienes proponen paradigmas rivales practican su oficio en mun-

[4] T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution*, caps. III, IV y VII. Uno de los temas principales de todo el libro es hasta qué punto el heliocentrismo era algo más que una cuestión estrictamente astronómica.

[5] Max Jammer, *Concepts of Space*, pp. 118-124.

dos distintos. Uno contiene cuerpos entorpecidos que caen lentamente, mientras que otro contiene péndulos que repiten sus movimientos una y otra vez. En uno, las soluciones son compuestos, mientras que en el otro son mezclas. El uno está engastado en una matriz espacial plana, mientras que el otro lo está en una curva. Al practicar en mundos distintos, ambos grupos de científicos ven cosas distintas cuando miran desde el mismo lugar en la misma dirección. Una vez más, esto no quiere decir que puedan ver lo que les dé la gana, pues ambos miran el mundo y lo que miran no ha cambiado. Pero en ciertas áreas ven cosas diferentes, y las ven manteniendo distintas relaciones entre sí. Por esta razón, una ley que para un grupo de científicos ni siquiera puede ser demostrada, a veces para otro puede parecer intuitivamente obvia. Asimismo por ese motivo, antes de que puedan aspirar a comunicarse plenamente, uno u otro de los grupos ha de experimentar la conversión que hemos estado denominando cambio paradigmático. Precisamente porque se trata de una transición entre inconmensurables, el paso de un paradigma rival a otro no se puede hacer paso a paso, obligado por la fuerza de la lógica y la experiencia neutra, sino que, como el cambio de Gestalt, o bien ocurre de golpe (aunque no necesariamente de modo instantáneo) o bien no ocurre en absoluto.

¿Cómo se consigue entonces que los científicos hagan esta transposición? Parte de la respuesta es que muy a menudo no se consigue. El copernicanismo hizo muy pocos conversos durante casi un siglo tras la muerte de Copérnico, y la obra de Newton no fue universalmente aceptada, espe-

cialmente en el continente europeo, durante más de medio siglo tras la aparición de los *Principios*.[6] Priestley nunca aceptó la teoría del oxígeno ni lord Kelvin la teoría electromagnética, y así con otros. Los propios científicos se han percatado a menudo de las dificultades de la conversión. Darwin escribía en un pasaje especialmente penetrante del final de su *Origin of Species:* "Aunque estoy plenamente convencido de la verdad de las opiniones expuestas en este volumen..., no espero en absoluto convencer a los naturalistas experimentados cuyas mentes están atestadas de una multitud de hechos, todos los cuales se han contemplado durante el largo transcurso de los años desde un punto de vista directamente opuesto al mío. ...[P]ero miro con confianza al futuro, a los jóvenes naturalistas emergentes que serán capaces de ver con imparcialidad ambos lados del problema".[7] Asimismo, Max Planck, al contemplar su propia carrera en su *Scientific Autobiography,* comentaba con tristeza que "una nueva verdad científica no triunfa convenciendo a sus oponentes y haciéndoles ver la luz, sino más bien porque sus oponentes acaban muriendo y se desarrolla una nueva generación que está familiarizada con ella".[8]

[6] I. B. Cohen, *Franklin and Newton,* pp. 93-94.

[7] Charles Darwin, *On the Origin of Species...* (edición autorizada de la sexta edición inglesa, Nueva York, 1889), II, pp. 295-296 [hay muchas traducciones españolas, una de las más aceptables es *El origen de las especies*, Madrid, Espasa-Calpe, 1998, pp. 564-565].

[8] Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers*, F. Gaynor (trad.) (Nueva York, 1949), pp. 33-34 [hay traducción española, *Autobiografía científica y últimos escritos*, Madrid, Nivola, 2000, p. 38].

Estos hechos y otros semejantes son de sobra conocidos como para que merezca la pena insistir en ellos, pero precisan una reevaluación. En el pasado, lo más frecuente es que se tomaran como una indicación de que los científicos, siendo sólo humanos, no siempre son capaces de admitir sus errores, incluso cuando se les enfrenta a una prueba estricta. Quisiera defender más bien que en estas cuestiones no viene al caso ni la prueba ni el error. La transferencia del compromiso de un paradigma a otro es una experiencia de conversión que no se puede forzar. Resistir durante toda la vida, especialmente por parte de aquellos cuyas carreras productivas los han comprometido con una vieja tradición de ciencia normal, no es una violación de las normas científicas, sino una indicación de cuál es la naturaleza de la propia investigación científica. La fuente de la resistencia es la seguridad de que el paradigma más viejo terminará por resolver todos sus problemas, que la naturaleza se puede hacer encajar en el compartimiento suministrado por el paradigma. En tiempos de revolución, inevitablemente esa confianza parece obstinación y terquedad, lo que sin duda acaba siendo algunas veces. Pero es también algo más, pues esa misma confianza hace posible la ciencia normal o la resolución de rompecabezas. Además, sólo gracias a la ciencia normal la comunidad profesional de científicos consigue, en primer lugar, explotar el ámbito de aplicación y la precisión potenciales del antiguo paradigma, y, en segundo lugar, aislar la dificultad a través de cuyo estudio puede nacer un nuevo paradigma.

Aun así, decir que la resistencia es inevitable y legítima, que el cambio de paradigma no se pue-

de justificar con una prueba, no equivale a decir que no haya argumentos pertinentes o que no se pueda persuadir a los científicos para que cambien de opinión. Por más que en ocasiones se necesite una generación para efectuar el cambio, las comunidades científicas se han convertido muchas veces a paradigmas nuevos. Además, dichas conversiones no se dan a pesar del hecho de que los científicos sean humanos, sino porque lo son. Aunque algunos científicos, en particular los más viejos y experimentados, puedan resistir indefinidamente, la mayoría de ellos pueden ser abordados de una u otra manera. Las conversiones se producirán de vez en cuando hasta que tras la muerte de los últimos resistentes, toda la profesión vuelva a trabajar bajo un único paradigma aunque ahora sea diferente. Hemos de preguntarnos por tanto cómo se induce la conversión y cómo se resiste a ella.

¿Qué tipo de respuesta hemos de esperar a esta pregunta? Precisamente porque se plantea acerca de las técnicas de persuasión o acerca de argumentos y contraargumentos en una situación en la que no puede haber una demostración, nuestra pregunta es nueva y exige un tipo de estudio que no se ha emprendido antes. Tendremos que aceptar una exploración muy parcial e impresionista. Además, lo que ya se ha dicho se alía con el resultado de esa exploración para sugerir que cuando se plantea el problema de la persuasión más bien que de la demostración, el problema de la naturaleza de la argumentación científica no tiene una respuesta única o uniforme. Los científicos individualmente abrazan un nuevo paradigma por todo tipo de razones y normalmente por varias a

la vez. Algunas de estas razones caen fuera de lo que aparentemente es la esfera plenamente científica, como por ejemplo el culto al sol que contribuyó a hacer de Kepler un copernicano.[9] Otras dependerán de peculiaridades de la biografía y la personalidad de cada uno. Incluso en ocasiones puede desempeñar una función significativa la nacionalidad o la reputación previa del innovador y sus maestros.[10] Por tanto, en última instancia hemos de aprender a plantear esta pregunta de un modo distinto. Lo que nos interese no serán tanto los argumentos que de hecho conviertan a un individuo u otro, cuanto el tipo de comunidad que siempre, más tarde o más temprano, se reconforma en un grupo único. Con todo, pospondré este problema para el capítulo final, a fin de examinar mientras tanto algunos de los tipos de argumentos que demuestran ser especialmente efectivos en las batallas por el cambio de paradigma.

Probablemente el argumento aislado más común esgrimido por quienes proponen un nuevo

[9] Para la función del culto solar en el pensamiento de Kepler, véase E. A. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (ed. rev., Nueva York, 1932), pp. 44-49 [hay traducción española, *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*, Buenos Aires, Sudamericana 1960, cap. II (B)].

[10] Para el papel de la reputación considérese lo siguiente: lord Rayleigh, en un momento en que su reputación estaba ya bien establecida, presentó a la British Association un artículo sobre algunas paradojas de la electrodinámica. Inadvertidamente se omitió su nombre la primera vez que se envió el artículo, y éste fue inicialmente rechazado como obra de algún "paradojista". Poco después, con el nombre del autor en su sitio, el artículo se aceptó con gran profusión de disculpas (R. J. Strutt, cuarto barón Rayleigh, *John William Strutt, Third Baron Rayleigh* [Nueva York, 1942], p. 228).

paradigma sea que pueden resolver los problemas que han llevado al viejo a la crisis. Cuando se puede ofrecer legítimamente, este argumento es a menudo el más efectivo de todos. Se sabe que el paradigma está en apuros en el terreno para el que se propone. Estas dificultades se han sondeado repetidamente y los intentos de eliminarlas han resultado ser una y otra vez inútiles. Se han reconocido y documentado algunos "experimentos cruciales" (aquellos que son capaces de discriminar con particular nitidez entre ambos paradigmas) antes siquiera de que se hubiese inventado el nuevo paradigma. Así, Copérnico pretendía haber resuelto el problema largamente insidioso de la longitud del año del calendario; Newton, haber reconciliado la mecánica terrestre y celeste; Lavoisier, haber resuelto los problemas de la identidad de los gases y de las relaciones de peso, y Einstein, haber hecho compatible la electrodinámica con una ciencia revisada del movimiento.

Este tipo de proclamas tienen muchas posibilidades de tener éxito si el nuevo paradigma muestra una precisión cuantitativa sorprendentemente mejor que la de su competidor más viejo. La superioridad cuantitativa de las tablas rudolfinas de Kepler respecto de todas las computadas a partir de la teoría tolemaica, constituyó un factor fundamental en la conversión de los astrónomos al copernicanismo. El éxito de Newton a la hora de predecir observaciones astronómicas cuantitativas, constituyó probablemente la razón aislada más importante del triunfo de su teoría sobre sus competidoras más razonables aunque sistemáticamente cualitativas. Y en este siglo [el siglo XX]

el sorprendente éxito cuantitativo, tanto de la ley de radiación de Planck como del átomo de Bohr, persuadieron rápidamente a muchos físicos de que debían adoptarlos aunque, considerando globalmente la ciencia física, ambas contribuciones crearon muchos más problemas que los que resolvieron.[11] Sin embargo, decir que se han resuelto los problemas que provocan una crisis, rara vez basta por sí mismo, aparte de que no siempre se puede decir legítimamente. De hecho, la teoría de Copérnico no era más precisa que la de Tolomeo y no llevó directamente a una mejora del calendario. O también, durante muchos años después de su formulación, la teoría ondulatoria de la luz no era ni siquiera tan eficaz como su rival corpuscular para resolver los efectos de polarización que fueron una de las causas principales de la crisis en óptica. En ocasiones, la práctica del perdedor que caracteriza a la investigación extraordinaria producirá un candidato a paradigma que inicialmente no servirá en absoluto para los problemas que han desencadenado la crisis. Cuando tal cosa ocurre, hay que extraer elementos de juicio de otras partes del campo, como en cualquier caso se hace a menudo. En esas otras áreas se pueden desarrollar argumentos especialmente persuasivos siempre que el nuevo paradigma permita predecir fenómenos que habían sido completamente insospechados bajo la égida del viejo paradigma.

La teoría de Copérnico, por ejemplo, sugería que los planetas deberían ser como la Tierra, que

[11] Para el problema creado por la teoría cuántica, véase F. Reiche, *The Quantum Theory* (Londres, 1922), caps. II, VI-XIX.

Venus debería mostrar fases y que el universo habría de ser muchísimo mayor de lo que antes se había supuesto. Como resultado de ello, cuando 60 años después de su muerte el telescopio mostró de repente las montañas de la Luna, las fases de Venus y un número inmenso de estrellas antes insospechadas, dichas observaciones aportaron a la nueva teoría una gran cantidad de conversos, especialmente entre los que no eran astrónomos.[12] En el caso de la teoría ondulatoria, una fuente principal de conversión profesional resultó aun más drástica. La resistencia francesa se derrumbó repentinamente, y hasta cierto punto de manera completa, cuando Fresnel fue capaz de demostrar la existencia de una mancha blanca en el centro de la sombra de un disco circular. Se trataba de un efecto que ni siquiera él había previsto, si bien Poisson, inicialmente uno de sus rivales, había mostrado que era una consecuencia necesaria aunque absurda de la teoría de Fresnel.[13] Debido a su valor de choque y al hecho obvio de que no se han "incorporado" a la nueva teoría desde el principio, los argumentos de este tipo resultan ser especialmente convincentes. Incluso en ocasiones esta fuerza adicional se puede explotar aun cuando el fenómeno en cuestión haya sido observado mucho antes de que se haya formulado por vez primera la teoría que lo explica. Así, por ejemplo, Einstein no parece haber previsto que la relatividad general habría de explicar con precisión

Para otros ejemplos de este párrafo, véanse las referencias anteriores de este capítulo.

[12] Kuhn, *The Copernican Revolution*, pp. 219-25 [traducción española, *La revolución copernicana*, pp. 219-225].

[13] E. T. Wittaker, *A History*, I, p.108.

la anomalía de sobra conocida en el movimiento del perihelio de Mercurio, y experimentó el correspondiente triunfo cuando lo hizo.[14]

Todos los argumentos a favor de un nuevo paradigma considerados hasta aquí se han basado en la habilidad comparativa de los competidores para resolver problemas. Para los científicos, esos argumentos son normalmente los más significativos y convincentes. Los ejemplos precedentes no deberían dejar ninguna duda acerca de la fuente de su inmenso atractivo. Pero, por razones de las que enseguida nos ocuparemos, no son irresistibles ni individual ni colectivamente. Por fortuna, hay también otro tipo de consideraciones que pueden llevar a los científicos a rechazar un viejo paradigma en favor de otro nuevo. Se trata de argumentos que rara vez se hacen del todo explícitos, que apelan al sentido que tienen las personas de lo estético o de lo conveniente, de manera que se dice que la nueva teoría es "más atractiva", "más adecuada" o "más simple" que la antigua. Tal vez esos argumentos sean menos eficaces en las ciencias que en las matemáticas. Las versiones primitivas de la mayoría de los paradigmas resultan crudas y para cuando pueden desarrollar todo su atractivo estético, la mayor parte de la comunidad se ha convencido ya por otros medios. Con todo, la importancia de las consideraciones estéticas puede ser decisiva en algunas ocasiones. Por más que a menudo sólo atraigan a unos po-

[14] Véase *ibidem*, II (1953), pp. 151-180, para el desarrollo de la relatividad general. Para la reacción de Einstein al acuerdo preciso de la teoría con el movimiento observado del perihelio de Mercurio, véase la carta citada en P. A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (Evanston, Illinois, 1949), p. 101.

cos científicos a una teoría nueva, el triunfo final puede depender en última instancia de esos pocos. Si no la hubiesen aceptado rápidamente por razones muy particulares, el nuevo candidato a paradigma podría no haberse desarrollado lo bastante como para atraer el favor de la comunidad científica en su conjunto.

Para captar la razón de ser de estas consideraciones más subjetivas y estéticas, recuérdese acerca de qué versa el debate paradigmático. Cuando se propone inicialmente un candidato a paradigma, rara vez ha resuelto más allá de unos pocos de los problemas que se le plantean, y en su mayoría dichas soluciones distan de ser perfectas. Hasta Kepler, la teoría copernicana apenas mejoró las predicciones de las posiciones planetarias hechas por Tolomeo. Cuando Lavoisier vio el oxígeno como "el propio aire completo", su nueva teoría no podía habérselas en absoluto con los problemas presentados por la proliferación de los nuevos gases, extremo que Priestley señaló con mucho éxito en su contraataque. Los casos como el de la mancha blanca de Fresnel son extremadamente raros. Ordinariamente sólo una vez que el nuevo paradigma se ha desarrollado, se ha aceptado y se ha explotado, se ponen a punto esos argumentos aparentemente decisivos, como el péndulo de Foucault para demostrar la rotación de la Tierra o el experimento de Fizeau para mostrar que la luz se mueve más aprisa en el aire que en el agua. Una parte de la ciencia normal consiste en producir tales argumentos, los cuales no desempeñan ninguna función en el debate paradigmático, sino en los textos posrevolucionarios.

Antes de que se escriban esos textos, mientras

prosigue el debate, la situación es muy otra. Normalmente, los opositores de un nuevo paradigma pueden pretender legítimamente que incluso en el área de crisis no resulta muy superior a su rival tradicional. Por supuesto que permite manejar mejor algunos de los problemas y ha puesto de manifiesto algunas nuevas regularidades, pero sin duda se puede suponer que el viejo paradigma se podrá articular para enfrentarse a estos retos como ha hecho otras veces antes. Tanto el sistema astronómico con la Tierra en el centro de Tycho Brahe como las versiones últimas de la teoría del flogisto eran respuestas a retos planteados por un nuevo candidato a paradigma, y ambos tuvieron mucho éxito.[15] Además, los defensores de la teoría y de los procedimientos tradicionales casi siempre pueden señalar problemas que su nueva rival no ha resuelto y que para ellos no son en absoluto problemas. Hasta el descubrimiento de la composición del agua, la combustión del hidrógeno era un argumento sólido a favor de la teoría del flogisto y en contra de la de Lavoisier. Y una vez que triunfó la teoría del oxígeno, aún no podía explicar la preparación de un gas combustible a partir del carbono, fenómeno que los partidarios del flogisto habían señalado como un sólido argumento en favor de su perspectiva.[16]

[15] Para el sistema de Brahe, que era completamente equivalente desde un punto de vista geométrico al de Copérnico, véase J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2ª ed., Nueva York, 1953), pp. 359-371. Para las últimas versiones de la teoría del flogisto y su éxito, véase J. R. Partington y D. McKie, "Historical Studies on the Phlogiston Theory", *Annals of Science*, IV (1939), pp. 113-149.

[16] Para el problema representado por el hidrógeno, véase J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, p. 134 [en la

En ocasiones, incluso en el área de la crisis, el balance de los argumentos a favor y en contra puede estar muy ajustado, mientras que fuera de ella lo normal es que favorezca decisivamente a la tradición. Copérnico destruyó la explicación del movimiento terrestre consagrada por la tradición sin sustituirla por nada; Newton hizo otro tanto con la vieja explicación de la gravedad; Lavoisier lo hizo con la antigua explicación de las propiedades comunes de los metales, etc. Dicho en pocas palabras, si un nuevo candidato a paradigma hubiese de ser juzgado desde el principio por personas obstinadas que examinasen exclusivamente la capacidad relativa de resolver problemas, entonces las ciencias habrían de experimentar muy pocas revoluciones importantes. Si añadiésemos los contraargumentos generados por lo que anteriormente denominamos la inconmensurabilidad de los paradigmas, entonces las ciencias no experimentarían ninguna revolución en absoluto.

Pero los debates entre los paradigmas no versan en realidad acerca de su capacidad relativa de resolver problemas, aunque haya buenas razones para que se planteen en esos términos. Por el contrario, la cuestión es qué paradigma guiará en el futuro la investigación sobre problemas que ninguno de los competidores puede aún alardear de resolver por completo. Lo que está en juego es la decisión acerca de modos alternativos de practicar la ciencia, y en tales circunstancias dicha decisión se basa no tanto en los logros pasados cuanto en las promesas acerca del futuro. La persona que adopta un paradigma nuevo en una etapa inicial ha de hacerlo a menudo desafiando los elementos de juicio suministrados por la resolución de problemas. Esto es, debe tener fe en que el nuevo paradigma tenga éxito con tantos problemas como se le plantean, sabiendo tan sólo que el viejo paradigma ha fracasado con unos cuantos. Una decisión de este tipo sólo puede tomarse con fe.

traducción española, *Historia de la química*, véase la sección del cap. VII, "La controversia del agua"]. Para el monóxido de carbono, véase H. Kopp, *Geschichte der Chemie*, III (Braunschweig, 1845), pp. 294-296.

Ésta es una de las razones por las que resulta tan importante que haya antes una crisis. Los científicos que no han pasado por ella, rara vez renunciarán a las firmes pruebas de la resolución de problemas en aras de lo que fácilmente puede parecer a todo el mundo que es una quimera y que puede acabar siéndolo realmente. Pero la crisis sólo no basta. Tiene que existir además algún fundamento, aunque no es preciso ni que sea racional ni en última instancia correcto, para tener fe en el candidato particular elegido. Algo habrá de hacer sentir, al menos a unos pocos científicos, que la nueva propuesta está en el buen camino, y en ocasiones eso sólo pueden suministrarlo las consideraciones estéticas personales e inarticuladas. En ocasiones las personas se han convertido por ellas cuando la mayoría de los argumentos técnicos articulados señalaban en la otra dirección. Cuando se introdujeron por vez primera, ni la teoría astronómica de Copérnico ni la teoría de la materia de De Broglie poseían muchos otros motivos importantes para resultar atractivas. Incluso hoy en día, la teoría general de Einstein atrae a las personas sobre todo por motivaciones estéticas, atractivo que pocas personas han sido capaces de sentir fuera del campo matemático.

No se quiere decir con esto que un paradigma triunfe en última instancia por algún tipo de estética mística. Por el contrario, pocas personas abandonan una tradición tan sólo por este tipo de razones y a menudo quienes lo hacen resultan estar equivocadas. Pero si un paradigma ha de triunfar, ha de conseguir unos primeros partidarios que lo desarrollen hasta el punto de que se puedan producir y multiplicar argumentos efectivos. E incluso cuando se obtienen tales argumentos, no resultan individualmente decisivos. Puesto que los científicos son personas razonables, un argumento u otro terminará persuadiendo a muchos de ellos; pero no hay uno solo que pueda o haya de persuadirlos a todos. Más que una única conversión en grupo, lo que se da es un desplazamiento creciente en la distribución de las fidelidades profesionales.

Al comienzo, un nuevo candidato a paradigma puede tener pocos partidarios y en ocasiones sus motivaciones serán dudosas. Con todo, si son competentes, lo mejorarán, explorarán sus posibilidades y mostrarán cómo sería pertenecer a la comunidad guiada por él. Y a medida que proceden por esta vía, si el paradigma está abocado a ganar, el número y la fuerza de los argumentos persuasivos en su favor aumentará. Se convertirán entonces más científicos y proseguirá la exploración del nuevo paradigma. Poco a poco, el número de experimentos, instrumentos, artículos y libros basados en el paradigma se multiplicarán. Convencidas por la fecundidad del nuevo punto de vista, más personas aún adoptarán el nuevo modo de practicar la ciencia normal, hasta que al fin sólo queden unos pocos viejos carcamanes. E incluso entonces no podremos decir que se equivocan. Por más que el historiador pueda hallar siempre personas como Priestley, por ejemplo, que fueron lo bastante irracionales como para resistir tanto tiempo como lo hicieron, no podrá hallar un punto en el que la resistencia se vuelva ilógica o acientífica. A lo sumo podrá estar dispuesto a afirmar que la persona que continúa resistiendo después de que toda la profesión se ha convertido, ha dejado *ipso facto* de ser un científico.

XIII. EL PROGRESO A TRAVÉS DE LAS REVOLUCIONES

Las páginas precedentes han desarrollado cuanto es posible en este ensayo mi descripción esquemática del desarrollo científico. Sin embargo, no pueden ofrecer cabalmente una conclusión, pues si dicha descripción ha podido captar después de todo la estructura esencial de la evolución continua de la ciencia, habrá planteado al mismo tiempo un problema especial: ¿Por qué la empresa bosquejada antes habría de avanzar uniformemente de una manera que le está vedada digamos al arte, la teoría política o la filosofía? Las respuestas más comunes a esta pregunta han sido refutadas en el cuerpo de este ensayo, por lo que hemos de concluirlo preguntándonos si es posible sustituirlas por otras.

Repárese inmediatamente en que una parte de la pregunta es por completo semántica. En considerable medida el término *ciencia* se limita a aquellos campos que progresan de manera obvia. Tal cosa se ve con más claridad que en ninguna otra parte en los debates recurrentes acerca de si es realmente científica una u otra de las ciencias sociales contemporáneas. Tales debates mantienen un paralelismo con los periodos preparadigmáticos de los campos que hoy se consideran científicos sin el menor asomo de duda. Su gran problema es cómo definir ese término embarazoso. Hay quienes argumentan, por ejemplo, que la

psicología es una ciencia porque presenta tales y cuales características, mientras que otros contestan que tales rasgos no son necesarios o suficientes para volver científico un campo. A menudo se gasta mucha energía y se despiertan grandes pasiones, sin que, visto desde fuera, se tenga la menor idea de por qué. ¿Acaso depende mucho de una *definición* de ciencia? ¿Acaso una definición puede decirle a alguien si es o no un científico? Si es así, ¿por qué a los científicos naturales o a los artistas les importa un bledo la definición del término? Inevitablemente es de sospechar que la cuestión sea más fundamental. Tal vez lo que en realidad se plantea sean preguntas del siguiente tenor: ¿Por qué mi campo de estudio no progresa como lo hace, por ejemplo, la física? ¿Qué cambios de técnicas o métodos o ideología le permitirían hacerlo? Con todo, no se trata de preguntas que se puedan responder merced a un acuerdo acerca de definiciones. Además, si los precedentes de las ciencias naturales son de aplicación al caso, dejarán de ser una fuente de preocupación no cuando se encuentre una definición, sino cuando los grupos que ahora dudan de su condición alcancen un consenso acerca de sus logros pasados y presentes. Por ejemplo, quizá sea significativo que los economistas discutan acerca de si su campo es una ciencia en menor medida en que lo hacen los profesionales de otros dominios de las ciencias sociales. ¿Acaso eso es así porque los economistas saben qué es la ciencia? ¿O es más bien porque están de acuerdo en lo que es la economía?

Este punto tiene uno inverso que, aunque no sea ya puramente semántico, puede contribuir a

mostrar las inextricables conexiones que median entre nuestras nociones de ciencia y de progreso. Durante muchos siglos, tanto en la antigüedad como de nuevo en la Europa moderna, la pintura se consideraba como *la* disciplina acumulativa. Durante todos esos años, el objetivo del artista se suponía que era la representación. Los críticos y los historiadores, como Plinio y Vasari, registraban entonces con veneración las series de invenciones, desde el escorzo al claroscuro, que hacían posible representaciones de la naturaleza cada vez más perfectas.[1] Mas ésos eran también los años, especialmente durante el Renacimiento, en los que se consideraba que no había mayor separación entre las ciencias y las artes. Leonardo era uno de tantos que pasaban libremente de un campo a otro, campos que sólo más tarde se convertirían en terrenos categóricamente distintos.[2] Además, incluso una vez que hubo tocado a fin ese intercambio regular, el término *arte* siguió aplicándose tanto a la tecnología y a los oficios —que también se consideraban progresivos—, como a la pintura y a la escultura. Sólo cuando estas últimas renunciaron inequívocamente al objetivo de la representación y comenzaron de nuevo a aprender de modelos primitivos, la ruptura que ahora damos por sentada comenzó a adquirir su actual

[1] E. H. Gombrich, *Art and Illusion: A Study in the Psychology of Pictorial Representation* (Nueva York, 1960), pp. 11-12 [hay traducción española, *Arte e ilusión. Estudio sobre la psicología de la representación pictórica*, Barcelona, Gustavo Gili, 1979, p. 25].

[2] *Ibidem*, p. 97 [143]; también Giorgio de Santillana, "The Role of Art in the Scientific Renaissance", en *Critical Problems in the History of Science*, M. Clagett (ed.) (Madison, Wisconsin, 1959), pp. 33-65.

profundidad. E incluso hoy en día, para cambiar una vez más de terreno, parte de la dificultad con que nos encontramos para ver las profundas diferencias que median entre la ciencia y la tecnología se relaciona con el hecho de que ambos campos poseen como atributo obvio el progreso.

No obstante, el hecho de reconocer que tendamos a ver como ciencia cualquier campo en el que exista un progreso marcado, sólo puede aclarar, pero no resolver, nuestra dificultad actual. Queda el problema de comprender por qué el progreso habría de ser una característica tan notable de una empresa llevada a cabo con las técnicas y fines descritos en este ensayo. Esta cuestión engloba varias cosas en una, y habremos de considerar cada una de ellas por separado. Con todo, en todos los casos excepto el último, la resolución dependerá en parte de invertir nuestra manera usual de ver la relación entre la actividad científica y la comunidad que la practica. Habremos de aprender a identificar como causas lo que ordinariamente se ha tenido por efectos. Si logramos hacerlo, la expresión *progreso científico* e incluso *objetividad científica* llegarán a parecer en parte redundantes. De hecho, se acaba de ejemplificar un aspecto de la redundancia. ¿Progresa un campo porque es ciencia o es ciencia porque progresa?

Preguntemos ahora por qué habría de progresar una empresa como la ciencia normal y comencemos recordando algunas de sus características más sobresalientes. Normalmente, los miembros de una comunidad científica madura trabajan desde un único paradigma o desde un conjunto estrechamente relacionado de ellos. Las

comunidades científicas distintas muy rara vez investigan los mismos problemas. En esos casos excepcionales, los grupos tienen en común varios paradigmas importantes. No obstante, visto desde dentro de una única comunidad, sea de científicos o de no científicos, el resultado del trabajo creador de éxito *es* progreso. ¿Cómo no habría de serlo? Acabamos de señalar, por ejemplo, que cuando los artistas tenían la representación como objetivo, tanto los críticos como los historiadores levantaban acta del progreso del grupo aparentemente unido. Otros campos creativos exhiben un progreso del mismo tipo. El teólogo que articula el dogma o el filósofo que refina los imperativos kantianos contribuye al progreso, aunque sólo sea al del grupo que comparte sus premisas. Ninguna escuela creadora reconoce que exista un tipo de obra que por un lado sea un éxito creativo y, por otro, no sea una contribución a los logros colectivos del grupo. Si tenemos dudas, como a tantos nos ocurre, acerca de que los campos no científicos progresen, eso no es así porque no progresen las escuelas individuales. Por el contrario, más bien se ha de deber a que siempre hay escuelas rivales, cada una de las cuales pone constantemente en tela de juicio los fundamentos mismos de las demás. Quien arguye, por ejemplo, que la filosofía no ha progresado, hace hincapié en que aún hay aristotélicos, no en que el aristotelismo haya dejado de progresar.

No obstante, estas dudas acerca del progreso surgen también en las ciencias. A lo largo del periodo preparadigmático, cuando se presenta una multiplicidad de escuelas rivales, resulta muy difícil hallar pruebas de progreso excepto el interno de cada una de las escuelas. Se trata del periodo que en el capítulo II se describía como aquel durante el cual los individuos practican la ciencia, si bien los resultados de su empresa no contribuyen a la ciencia tal como la conocemos. Y también, durante los periodos revolucionarios en los que los principios fundamentales de un campo están una vez más en tela de juicio, se expresan repetidamente dudas acerca de la posibilidad misma de un progreso continuo si se adopta uno u otro de los paradigmas opuestos. Quienes rechazaban el newtonismo proclamaban que su creencia en fuerzas innatas haría volver a la ciencia a la Edad Media. Quienes se oponían a la química de Lavoisier sostenían que el rechazo de los "principios" químicos en favor de los elementos de laboratorio significaba el rechazo de explicaciones químicas ya logradas por parte de quienes se refugiaban en meros nombres. Aunque expresado con mayor moderación, parece latir un sentimiento similar en la oposición de Einstein, Bohm y otros a la interpretación probabilística dominante de la mecánica cuántica. Dicho sea brevemente, sólo durante los periodos de ciencia normal el progreso parece obvio y seguro. No obstante, durante dichos periodos, la comunidad científica no podría ver de otro modo los frutos de su trabajo.

Así pues, por lo que respecta a la ciencia normal, parte de la respuesta al problema del progreso está sencillamente en el ojo del observador. El progreso científico no es de un tipo diferente del progreso en otros terrenos, pero el hecho de que la mayor parte del tiempo no haya escuelas rivales que pongan en tela de juicio los objetivos y normas de los demás, hace mucho más fácil de

ver el progreso de una comunidad de ciencia normal. Con todo, esto es sólo una parte de la respuesta y en absoluto es la más importante. Por ejemplo, ya hemos señalado que una vez que la recepción de un paradigma ha liberado a la comunidad científica de la necesidad de reexaminar constantemente sus primeros principios, los miembros de dicha comunidad pueden concentrarse exclusivamente en los fenómenos más sutiles y esotéricos de los fenómenos que le interesan. Inevitablemente eso aumenta la efectividad y la eficiencia con las que el grupo como un todo resuelve los nuevos problemas. Otros aspectos de la vida profesional de las ciencias aumentan aún más esta especialísima eficiencia.

Algunos de ellos son consecuencia del aislamiento sin parangón de las comunidades científicas maduras respecto de las exigencias de los ciudadanos y de la vida diaria. Tal aislamiento nunca ha sido completo; se trata más bien de una cuestión de grado. Sin embargo, no hay otras comunidades profesionales en las que el trabajo creador individual se dirija y se evalúe de manera tan exclusiva por otros miembros de la profesión. El más esotérico de los poetas o el más abstracto de los teólogos está muchísimo más preocupado que el científico porque las personas comunes aprueben su trabajo creador, si bien tal vez esté menos interesado por la aprobación en general. Esta diferencia resulta ser decisiva. Precisamente porque trabaja tan sólo para un público de colegas, público que comparte sus propios valores y creencias, el científico puede dar por sentado un único conjunto de normas. No tiene por qué preocuparse de lo que piense otro grupo o escuela, y por

consiguiente puede resolver un problema y pasar al siguiente con más rapidez que quienes trabajan para un grupo más heterodoxo. Y lo que es aun más importante, el aislamiento de la comunidad científica respecto a la sociedad, le permite al científico individual concentrar su atención en problemas que tiene buenas razones para pensar que será capaz de resolver. Frente a lo que ocurre con el ingeniero, con muchos médicos y con la mayoría de los teólogos, el científico no tiene por qué elegir los problemas debido a que necesiten urgentemente una solución, sin que se tengan en cuenta las herramientas disponibles para resolverlos. También a este respecto resulta instructivo el contraste entre los científicos naturales y muchos científicos sociales. Estos últimos, pero nunca los primeros, tienden a menudo a defender la elección del problema que investigan (como, por ejemplo, los efectos de la discriminación racial o las causas de los ciclos comerciales) sobre todo en términos de la importancia social de alcanzar una solución. ¿Cuál de ambos grupos esperaríamos que resolviese sus problemas a mayor ritmo?

Los efectos del aislamiento respecto a la sociedad más amplia se ven enormemente intensificados por otra característica de la comunidad científica profesional, cual es la naturaleza de su iniciación educativa. En la música, en el arte gráfico y en la literatura, los profesionales reciben su educación enfrentándose a las obras de otros artistas, sobre todo del pasado. Los libros de texto, excepto los compendios o manuales de creaciones originales, desempeñan tan solo un función secundaria. En historia, filosofía y ciencias socia-

les, los libros de texto poseen mayor importancia. Pero incluso en estos campos, los libros de curso elementales se complementan con la utilización de antologías de fuentes originales, algunas de las cuales son los "clásicos" del campo y otras, los informes de investigación contemporáneos que los profesionales escriben para otros profesionales. Como resultado de ello, al estudiante de una de estas disciplinas se le está llamando constantemente la atención sobre la inmensa variedad de problemas que han tratado de resolver a lo largo del tiempo los miembros de su futuro grupo. Y, lo que es aun más importante, tiene continuamente ante sí algunas soluciones rivales e inconmensurables a dichos problemas, soluciones que en última instancia tendrá que evaluar por sí mismo.

Compárese dicha situación con la que se da al menos en las ciencias naturales contemporáneas. En estos campos, el estudiante depende principalmente de libros de texto hasta que, en su tercero o cuarto año de trabajo como licenciado, inicie su propia investigación. En muchos planes de estudio ni siquiera se exige que los estudiantes graduados lean obras que no se hayan escrito especialmente para estudiantes. Los pocos que especifican la lectura complementaria de artículos y monografías de investigación, limitan dichas recomendaciones a los cursos más avanzados y a las lecturas que parten más o menos de allí a donde han llegado los textos al uso. Hasta los últimos estadios de la educación del científico, los libros de texto sustituyen sistemáticamente a los escritos científicos creadores que hicieron posibles esos manuales. Dada la confianza que tienen en sus paradigmas, confianza que hace posible esta técnica

educativa, pocos científicos desearían cambiarla. Después de todo, ¿por qué debería leer el estudiante de física, por ejemplo, las obras de Newton, Faraday, Einstein o Schrödinger, cuando todo cuanto necesita saber sobre dichas obras está resumido en algunos libros de texto puestos al día, de manera más breve, precisa y sistemática?

Sin querer defender los extremos exacerbados a los que en ocasiones se ha llevado este tipo de educación, no se puede dejar de constatar que en general ha resultado tremendamente efectivo. Por supuesto, se trata de una educación rígida y estrecha, probablemente más que cualquier otra, exceptuando tal vez la teología dogmática. Mas el científico está casi perfectamente equipado para el trabajo de ciencia normal, para la resolución de rompecabezas dentro de la tradición que define el libro de texto. Además, se halla asimismo bien equipado para otra tarea, cual es la generación a través de la ciencia normal de crisis importantes, aunque cuando surgen, por supuesto, el científico no está igualmente bien preparado. Aunque las crisis prolongadas se reflejen probablemente en una práctica educativa menos rígida, la formación científica no está bien diseñada para producir personas que descubran fácilmente un nuevo modo de enfocar las cosas. Pero con tal de que aparezca alguien con un nuevo enfoque que pueda ser candidato a paradigma (generalmente una persona joven o alguien recién llegado al campo), la pérdida debida a la rigidez afecta sólo al individuo. Dada una generación en la que realizar el cambio, la rigidez individual es compatible con una comunidad que pueda pasar de un paradigma a otro cuando lo exija la ocasión. Resulta com-

patible especialmente cuando esa misma rigidez le ofrece a la comunidad un indicador sensible de que algo ha ido mal.

Así pues, en su estado normal una comunidad científica es un instrumento inmensamente eficiente para resolver los problemas o los rompecabezas definidos por su paradigma. Además, el resultado de resolver esos problemas ha de ser inevitablemente un progreso. No hay aquí problema alguno. No obstante, el reconocimiento de este extremo no hace sino resaltar el segundo aspecto del problema del progreso en las ciencias. Enfrentémonos a él y preguntémonos por el progreso a través de la ciencia extraordinaria. ¿Por qué el progreso habría de ser también un acompañante aparentemente universal de las revoluciones científicas? Una vez más, resulta muy instructivo preguntarse cuál otro habría de ser el resultado de una revolución. Las revoluciones se cierran con la victoria total de uno de los dos campos opuestos. ¿Acaso ese grupo va a decir alguna vez que el resultado de su victoria no merece el título de progreso? Eso equivaldría más bien a admitir que ellos se equivocaron mientras que sus oponentes estaban en lo cierto. Para ellos al menos, el resultado de la revolución ha de ser el progreso y están en una excelente posición para asegurar que los miembros futuros de su comunidad vean la historia pasada de la misma forma. El capítulo XI describía con detalle las técnicas mediante las cuales se llevaba a cabo tal cosa y acabamos de hacer referencia a un aspecto estrechamente relacionado de la vida científica profesional. Cuando una comunidad científica repudia un paradigma pasado, rechaza a la vez como

objeto adecuado de examen profesional la mayoría de los libros y artículos en los que dicho paradigma estaba incorporado. La educación científica no utiliza el equivalente de lo que es un museo de arte o la biblioteca de clásicos, y de ello en ocasiones se deriva una drástica distorsión de la percepción científica del pasado de la disciplina. En mayor medida que los profesionales de otros campos creadores, llega a verlo conectado en línea directa con la cumbre actualmente alcanzada por la disciplina. Dicho en dos palabras, llega a verlo como un progreso. Mientras permanezca en el campo, no le cabe otra salida.

Inevitablemente estas observaciones habrán de sugerir que los miembros de una comunidad científica madura son, como el personaje típico del *1984* de Orwell, víctimas de la historia reescrita por la mano oculta de los poderes fácticos. Además esa sugerencia no resulta del todo inadecuada. En las revoluciones científicas hay tanto pérdidas como ganancias, y los científicos tienden a mostrar una peculiar ceguera hacia las primeras.[3] Por otra parte, no podemos dejar en este punto la explicación del progreso a través de revoluciones, pues hacerlo implicaría que en la ciencia el poder hace el derecho, fórmula que una vez más no estaría del todo mal si no suprimiera

[3] Los historiadores de la ciencia se topan con frecuencia con esta ceguera de un modo especialmente chocante. El grupo de estudiantes que procede de ciencias es con frecuencia el grupo al que más recompensa enseñar, pero al comienzo es también usualmente el más frustrante. Dado que los estudiantes de ciencias "saben las respuestas correctas", resulta especialmente difícil hacerlos analizar una ciencia del pasado en sus propios términos.

la naturaleza del proceso y de la autoridad con que se elige entre distintos paradigmas. Si el árbitro de los debates entre los paradigmas fuese sólo la autoridad, especialmente la autoridad no profesional, el resultado de esos debates podría seguir siendo una revolución, pero no sería una revolución *científica*. La existencia misma de la ciencia depende de investir a los miembros de un tipo especial de comunidad con el poder de elegir entre los paradigmas. Hasta qué punto ha de ser especial dicha comunidad para que la ciencia sobreviva y se desarrolle es algo que se pone de manifiesto por la gran inseguridad con que la humanidad cobija la empresa científica. Todas las civilizaciones de que tenemos noticia han dispuesto de una tecnología, un arte, una religión, un sistema político, leyes y demás. En muchos casos, esas facetas de la civilización han estado tan desarrolladas como las nuestras. Pero sólo las civilizaciones descendientes de la Grecia helenística han poseído algo más que el tipo más rudimentario de ciencia. Ningún otro lugar ni tiempo ha sostenido las especialísimas comunidades de las que surge la productividad científica.

¿Cuáles son las características esenciales de estas comunidades? Obviamente, necesitan un estudio muchísimo mayor, por lo que en esta área sólo son posibles las generalizaciones más provisionales. No obstante, han de resultar ya extraordinariamente claros algunos requisitos necesarios para ser miembro de un grupo científico profesional. El científico, por ejemplo, ha de ocuparse de resolver problemas acerca de la conducta de la naturaleza. Además, aunque su preocupación por la naturaleza posea un carácter global, los problemas sobre los que trabaja han de ser problemas de detalle. Más importante: las soluciones que lo satisfagan no han de ser sólo personales, sino que por el contrario han de ser aceptadas como soluciones por muchos. Con todo, el grupo que las comparta no se puede tomar aleatoriamente del conjunto de la sociedad, sino que se trata más bien de la comunidad bien definida de los colegas profesionales del científico. Aunque no esté escrita, una de las reglas más fuertes de la vida científica es la prohibición de recurrir a los jefes de Estado o a la ciudadanía en general en cuestiones científicas. El reconocimiento de la existencia de un único grupo profesional competente y la aceptación de su función como árbitro exclusivo de los logros profesionales posee aún otras implicaciones. Los miembros del grupo, en cuanto individuos y en virtud de su educación y experiencia compartida, han de considerarse los únicos poseedores de las reglas del juego o de algún otro principio equivalente para emitir juicios inequívocos. Dudar de que compartan alguno de esos principios de evaluación equivaldría a admitir la existencia de normas incompatibles de evaluación científica, admisión que plantearía inevitablemente el problema de si la verdad en las ciencias puede de ser única.

Esta pequeña lista de características comunes a las comunidades científicas se ha sacado totalmente, como debería ser, de la práctica de la ciencia normal, que es la actividad para la que ordinariamente se instruye al científico. Nótese, no obstante, que a pesar de su brevedad la lista es ya suficiente para segregar a dichas comunidades de todos los demás grupos profesionales. Repáre-

se además en que, a pesar de que se haya extraído de la ciencia normal, esta lista da cuenta de muchos rasgos peculiares de la respuesta del grupo durante las revoluciones, y en especial durante los debates acerca de paradigmas. Ya hemos observado que un grupo de este tipo ha de ver como un progreso el cambio de paradigma, y ahora podemos darnos cuenta de que en gran medida esa impresión resulta artificialmente satisfecha, pues la comunidad científica es un instrumento supremamente eficiente para maximizar el número y la precisión de los problemas resueltos mediante el cambio de paradigma.

Dado que la unidad de logro científico es el problema resuelto, y dado que el grupo sabe de sobra qué problemas ya han sido resueltos, pocos científicos se dejarán convencer fácilmente para adoptar un punto de vista que ponga de nuevo sobre el tapete muchos problemas que ya se han solucionado previamente. La propia naturaleza debe minar primero la seguridad profesional haciendo que los logros anteriores parezcan problemáticos. Además, aun cuando haya ocurrido tal cosa y se haya presentado un nuevo candidato a paradigma, los científicos se mostrarán reacios a abrazarlo a menos que se den dos condiciones importantísimas. En primer lugar, el nuevo candidato a paradigma tiene que dar la impresión de que resuelve algún problema sobresaliente y reconocido por todo el mundo que no se puede abordar de otro modo. Y, en segundo lugar, el nuevo paradigma ha de prometer conservar una parte relativamente amplia de la capacidad concreta de resolución de problemas que se ha acumulado en la ciencia merced a sus predecesores. Por sí misma, la novedad no es un objetivo de las ciencias como lo es de tantos otros campos creadores. Como resultado de ello, aunque un nuevo paradigma nunca o rara vez posea todas las aptitudes de sus predecesores, ellos normalmente conservan una gran cantidad de las partes más concretas de los logros pasados, permitiendo además soluciones específicas de problemas adicionales.

Una vez dicho esto, no ha de entenderse que la capacidad de resolver problemas sea el fundamento único o inequívoco para elegir paradigma. Ya hemos señalado múltiples razones por las que no puede haber un criterio de este tipo. Pero lo que sí se da a entender es que una comunidad de especialistas científicos hará cuanto esté en su mano para asegurar el aumento continuo del conjunto de datos que pueda manejar con precisión y detalle. En este proceso, la comunidad aceptará algunas pérdidas y con frecuencia habrán de eliminarse algunos viejos problemas. Además, en muchas ocasiones la revolución limita la amplitud de las cuestiones profesionales de que se ocupa la comunidad, aumenta el grado de su especialización y mitiga la comunicación con otros grupos tanto científicos como ordinarios. Aunque no cabe duda de que la ciencia se vuelve más profunda, no tiene por qué hacerse también más amplia, y cuando esto ocurre, tal amplitud se manifiesta sobre todo en la proliferación de las especialidades científicas y no sólo en el alcance de una única especialidad. Con todo, a pesar de estas y aun otras pérdidas de las comunidades individuales, la naturaleza de dichas comunidades suministra una garantía virtual de que tanto la lista de problemas resueltos por la ciencia como la precisión

de las soluciones individuales de los problemas no dejarán de seguir aumentando. Al menos la naturaleza de la comunidad suministra dicha garantía si es que hay algún modo de ofrecer tal cosa. ¿Qué mejor criterio podría haber que la decisión del grupo científico?

Estos últimos párrafos señalan en qué direcciones creo que ha de buscarse una solución más fina al problema del progreso en las ciencias. Tal vez indiquen que el progreso científico no es exactamente como pensábamos que era, pero al mismo tiempo mostrarán que algún tipo de progreso ha de caracterizar inevitablemente a la empresa científica mientras dicha empresa sobreviva. En las ciencias no tiene por qué haber progreso de otro tipo. Para ser más exactos, hemos de abandonar la idea implícita o explícita de que los cambios de paradigma llevan a los científicos y a quienes de ellos aprenden cada vez más cerca de la verdad.

Es hora ya de señalar que hasta hace unas cuantas páginas, el término *verdad* sólo había aparecido en este ensayo en una cita de Francis Bacon. E incluso en estas últimas páginas ha aparecido tan sólo como fuente de la convicción de los científicos de que no pueden coexistir reglas incompatibles de hacer ciencia excepto durante las revoluciones, cuando la principal tarea de la profesión es eliminar todos los conjuntos de reglas menos uno. El proceso de desarrollo descrito en este ensayo ha sido un proceso de evolución *desde* los inicios primitivos, un proceso cuyos estadios sucesivos se caracterizan por una comprensión de la naturaleza cada vez más detallada y refinada. Sin embargo, nada de lo que se ha dicho o se vaya a decir hace de ello un proceso evolutivo *hacia* nada. Es inevitable que esta laguna haya perturbado a muchos lectores, pues todos estamos profundamente habituados a ver la ciencia como la única empresa que constantemente se aproxima cada vez más a alguna meta preestablecida por la naturaleza.

¿Pero acaso hace falta que exista tal meta? ¿No podemos explicar tanto la existencia como el éxito de la ciencia en términos de evolución a partir del estado de conocimiento de la comunidad en cualquier momento dado? ¿Acaso sirve de algo imaginar que existe una descripción plena, objetiva y verdadera de la naturaleza y que la medida adecuada de una realización científica es la medida en que nos aproxima a dicho fin último? Si logramos acostumbrarnos a sustituir la evolución-hacia-lo-que-queremos-conocer por la evolución-a-partir-de-lo-que-conocemos, se desvanecerán en el proceso un cierto número de problemas embarazosos. En algún rincón de este laberinto debe agazaparse, por ejemplo, el problema de la inducción.

Aún no puedo especificar con algún detalle las consecuencias de este punto de vista alternativo acerca del avance científico, pero sirve de consuelo constatar que la transposición conceptual aquí recomendada está muy próxima a otra emprendida en Occidente hace ahora un siglo. Sirve especialmente de consuelo porque en ambos casos el principal obstáculo a dicha transposición es el mismo. Cuando Darwin publicó inicialmente su teoría de la evolución por selección natural en 1859, lo que más molestaba a muchos profesionales no era ni la idea del cambio de las espe-

cies ni la posible descendencia humana del mono. Las pruebas que apuntaban a la evolución, incluida la evolución humana, se habían venido acumulando durante décadas, y la idea de evolución había sido sugerida y ampliamente difundida con anterioridad. Por más que la evolución en cuanto tal se topara con cierta resistencia, especialmente por parte de algunos grupos religiosos, no era esa en absoluto la mayor de las dificultades a que se enfrentaban los darwinistas. Esa dificultad surgía de una idea que era casi exclusiva de Darwin. Todas las teorías evolucionistas pre-darwinistas de sobra conocidas, las de Lamarck, Chambers, Spencer y los Naturphilosophen alemanes, habían entendido que la evolución era un proceso dirigido a un fin. Se entendía que la "idea" del hombre y de la flora y la fauna contemporáneas había estado presente desde el inicio de la creación de la vida, tal vez en la mente de Dios. Tal idea o plan había suministrado la dirección y la fuerza rectora de todo el proceso evolutivo. Cada nuevo estadio del desarrollo evolucionista era una más perfecta realización de un plan que había estado presente desde el comienzo.[4]

Para muchas personas, la abolición de este tipo de evolución teleológica fue la más importante y menos aceptable de las sugerencias de Darwin.[5] *El origen de las especies* no reconocía meta alguna establecida por Dios o por la naturaleza. Por el

[4] Loren Eiseley, *Darwin's Century: Evolution and the Men Who Discovered It* (Nueva York, 1958), caps. II, IV-V.

[5] Para un pormenor especialmente agudo de un notable conflicto darwiniano sobre este problema, véase A. Dupree, *Asa Gray, 1810-1888* (Cambridge, Massachusetts, 1959), pp. 295-306, 355-383.

contrario, la selección natural, al operar en un medio dado y con los organismos presentes de hecho en él, era la responsable del surgimiento gradual pero continuo de los organismos más complejos, más articulados y muchísimo más especializados. Incluso los órganos maravillosamente adaptados, como el ojo humano y la mano humana, órganos cuyo diseño había suministrado anteriormente poderosos argumentos en favor de la existencia de un supremo artífice y de un plan preconcebido, eran el producto de un proceso que avanzaba regularmente *a partir de* los inicios primitivos, pero no *hacia* meta alguna. El aspecto más difícil y perturbador de la teoría darwinista era la creencia en que la selección natural, provocada por la mera competencia entre los organismos en aras de la supervivencia, pudiera haber producido al ser humano junto con los animales y plantas superiores. ¿Qué habrían de significar *evolución, desarrollo* y *progreso* en ausencia de una meta específica? Para muchas personas tales términos se mostraron de pronto como autocontradictorios.

Es fácil llevar demasiado lejos la analogía que conecta la evolución de los organismos con la evolución de las ideas científicas, pero por lo que respecta a las cuestiones planteadas en este capítulo final resulta casi perfecta. El proceso descrito en el capítulo XII como la resolución de las revoluciones es la selección mediante el conflicto dentro de la comunidad científica del modo más apto de practicar la ciencia futura. El resultado neto de una sucesión de tales selecciones revolucionarias, separadas por periodos de investigación normal, es el conjunto maravillosamente adapta-

do de instrumentos que llamamos conocimiento científico moderno. Los sucesivos estadios de dicho proceso de desarrollo están marcados por un aumento en la articulación y la especialización. Además, todo este proceso puede haberse producido, tal como suponemos ahora que ocurrió con la evolución biológica, sin recurso a una meta establecida, a una verdad científica fija y permanente, de la que cada estadio del desarrollo del conocimiento científico constituye una imagen mejor.

Cualquiera que haya seguido hasta aquí la argumentación sentirá, no obstante, la urgencia de preguntar por qué habría de funcionar el proceso evolutivo. ¿Cómo habría de ser la naturaleza, incluido el ser humano, para que fuese posible la ciencia? ¿Por qué habrían de ser capaces las comunidades científicas de alcanzar un consenso firme imposible en otros campos? ¿Por qué habría de perdurar el consenso mediante un cambio de paradigma tras otro? ¿Y por qué el cambio de paradigma habría de producir invariablemente un instrumento más perfecto en cualquier sentido que los conocidos anteriormente? Desde cierto punto de vista estas preguntas, exceptuando la primera, ya han sido respondidas, pero desde otro punto de vista siguen tan abiertas como lo estaban cuando comenzó este ensayo. No sólo la comunidad científica ha de ser especial; el mundo del que dicha comunidad forma parte ha de poseer también características muy especiales, y no estamos ahora en mejor posición que cuando comenzamos para saber cuáles han de ser éstas. Ahora bien, el problema de cómo ha de ser el mundo para que el ser humano pueda conocerlo no ha sido creado por este ensayo. Por el contra-

rio, es tan viejo como la propia ciencia y sigue sin estar resuelto. Pero no es necesario resolverlo en este lugar. Cualquier concepción de la naturaleza compatible con el desarrollo de la ciencia mediante pruebas es compatible con el punto de vista evolucionista de la ciencia desarrollado aquí. Puesto que esta visión es también compatible con la observación minuciosa de la vida científica, hay sólidas razones para utilizarla en los intentos de resolver la multitud de problemas que aún subsisten.

EPÍLOGO: 1969

HAN PASADO ya casi siete años desde que se publicó este libro[1] y entretanto la respuesta de los críticos y mi propio trabajo ulterior han mejorado mi comprensión de un cierto número de cuestiones planteadas por él. En lo fundamental, mis puntos de vista permanecen prácticamente inalterados, aunque ahora reconozco que algunos aspectos de su formulación inicial han creado dificultades y malentendidos gratuitos. Puesto que algunos de esos malentendidos son responsabilidad mía, su eliminación me permite ganar un terreno que en última instancia suministrará el fundamento sobre el cual asentar una nueva versión del libro.[2] Mientras tanto, aprovecho la ocasión de bosquejar las revisiones precisas, de comentar algunas críticas reiteradas, y de sugerir las direc-

[1] Este epílogo se preparó inicialmente por sugerencia de mi antiguo alumno y viejo amigo, el doctor Shigeru Nakayama de la Universidad de Tokio, a fin de que se incluyera en su traducción de la obra al japonés. Le estoy agradecido por la idea, por su paciencia al esperar que la llevase a término y por su permiso para incluir el resultado en la edición en lengua inglesa.

[2] En esta edición no he intentado reescribir sistemáticamente el libro, limitando las alteraciones a unos cuantos errores tipográficos y a dos pasajes que contenían errores aislables. Uno de éstos es la descripción de la función de los *Principios* de Newton en el desarrollo de la mecánica del siglo XVIII, que aparecía más arriba en las páginas 68-73. El otro se refiere a la respuesta a la crisis de la página 153.

ciones en las que actualmente se desarrolla mi propio pensamiento.[3]

Varias de las dificultades clave de mi texto original se aglutinan en torno al concepto de paradigma, por lo que mi discusión comienza con ellas.[4] En la sección que sigue inmediatamente, sugiero que es deseable separar dicho concepto de la noción de comunidad científica, indico cómo se puede llevar a cabo tal cosa y discuto algunas consecuencias importantes de la resultante separación analítica. Considero luego qué es lo que ocurre cuando se buscan los paradigmas examinando la conducta de los miembros de una comunidad científica *previamente determinada*. Este procedimiento pone en seguida de relieve que en gran parte del libro el término *paradigma* se

[3] Se hallarán otras indicaciones en dos ensayos míos recientes: "Reflections on My Critics", en Imre Lakatos y Allan Musgrave (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970), y "Second Thoughts on Paradigms", en Frederick Suppe (ed.), *The Structure of Scientific Theories* (Urbana, Illinois, 1970 o 1971), ambos en prensa en la actualidad. [Para "Reflection" véanse las pp. 231-278 del original inglés; hay traducción española, "Consideración en torno a mis críticos", en *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona, Grijalbo, 1975, pp. 391-454. "Second Thoughts" se publicó en realidad en 1974; pp. 259-282 del original inglés; hay traducción española, "Segundas reflexiones acerca de los paradigmas", en D. F. Suppe, *La estructura de las teorías científicas*, Madrid, Editora Nacional, 1979, pp. 509-533, reeditado en Madrid, UNED, 1990, pp. 389-421; se puede encontrar también como cap. 12 de *La tensión esencial*, México, FCE, 1981.] En adelante citaré el primero de estos ensayos como "Reflections" y el volumen en que aparece como *Growth of Knowledge*, y aludiré al segundo ensayo como "Second Thoughts".

[4] Para una crítica especialmente convincente de mi presentación inicial de los paradigmas, véase Margaret Masterman, "The Nature of Paradigm", en *Growth of Knowledge* [pp. 59-

usa con dos sentidos diferentes. Por un lado, hace alusión a toda la constelación de creencias, valores, técnicas y demás, compartidos por los miembros de una comunidad dada. Por otro, denota un tipo de elemento de dicha constelación, las soluciones concretas a rompecabezas que, usadas como modelos o ejemplos, pueden sustituir a las reglas explícitas como base para la solución de los restantes rompecabezas de la ciencia normal. El primer sentido del término, llamémoslo el sociológico, es objeto de la sección 2, más abajo; la sección 3 se dedica a los paradigmas como logros ejemplares pasados.

Filosóficamente al menos, este segundo sentido de *paradigma* es el más profundo de ambos y las afirmaciones que he hecho en su nombre son las principales fuentes de las controversias y los malentendidos que ha desencadenado el libro, especialmente por la acusación de que hago de la ciencia una empresa subjetiva e irracional. Estas cuestiones se toman en consideración en las secciones 4 y 5. La primera de ellas defiende que términos como *subjetivo* e *intuitivo* no se pueden aplicar con propiedad a los componentes del conocimiento que he descrito diciendo que estaban tácitamente engastados en los ejemplos compartidos. Si bien tal conocimiento, a menos que se cambie esencialmente, no es objeto de paráfrasis en términos de reglas y criterios, es con todo sistemático, sometido a la prueba del tiempo y en cierto sentido, corregible. La sección 5 aplica dicho argumento al problema de la elección entre dos teorías incompatibles, instando en una breve conclusión a considerar que las personas que sostienen puntos de vista inconmensurables han de tenerse por miembros de distintas comunidades lingüísticas, de modo que sus problemas de comunicación han de considerarse como problemas de traducción. Se discuten también tres problemas residuales en las secciones finales 6 y 7. El primero toma en consideración la acusación de que la visión de la ciencia desarrollada en este libro es relativista de pies a cabeza. El segundo comienza preguntando si mi argumentación adolece, como se ha dicho, de una confusión entre el modo descriptivo y el normativo; concluye con unas breves consideraciones sobre un tema que merece un ensayo aparte, cual es hasta qué punto las principales tesis del libro se podrían aplicar legítimamente a otros campos distintos de la ciencia.

89; traducción española, "La naturaleza de los paradigmas", en *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, pp. 159-201] y Dudley Shapere,"The Structure of Scientific Revolutions", *Philosophical Review*, LXXIII (1964), pp. 383-394.

1. *Los paradigmas y la estructura de la comunidad*

El término *paradigma* aparece pronto en las páginas precedentes y se introduce de un modo intrínsecamente circular. Un paradigma es lo que comparten los miembros de una comunidad científica *y*, a la inversa, una comunidad científica consta de personas que comparten un paradigma. No todos los círculos son viciosos (más adelante en este epílogo, defenderé un argumento con una estructura similar), pero éste es una fuente de dificultades reales. Las comunidades científicas pueden aislarse y deberían serlo sin recurso previo a

los paradigmas. Éstos últimos pueden descubrirse luego examinando la conducta de los miembros de una comunidad dada. Si hubiera de escribir de nuevo este libro, lo empezaría discutiendo la estructura comunitaria de la ciencia, tema que recientemente se ha convertido en un tema importante de la investigación sociológica que los historiadores de la ciencia están empezando también a tomar en serio. Los resultados preliminares, muchos de los cuales aún no se han publicado, sugieren que las técnicas empíricas precisas para su exploración no son triviales, si bien algunas están ya disponibles y otras sin duda se habrán de desarrollar.[5] La mayoría de los científicos en activo responden sin titubeos a las preguntas relativas a la comunidad a que pertenecen, dando por supuesto que hay diferentes grupos, cuya pertenencia está determinada al menos aproximadamente, los cuales se reparten las diversas especialidades existentes. Por tanto supondré aquí que se habrán de hallar medios más sistemáticos para su identificación. En lugar de presentar los resultados preliminares de las investigaciones, articularé brevemente la noción intuitiva de comunidad que subyace a la mayoría de los capítulos anteriores de este libro. Se trata de una noción hoy en día ampliamente compartida por científicos, sociólogos y por algunos historiadores de la ciencia.

[5] W. O. Hagstrom, *The Scientific Community* (Nueva York, 1965), caps. IV y V; D. J. Price y D. de B. Beaver, "Collaboration in an Invisible College", *American Psychologist*, XXI (1966), pp. 1011-1118; Diana Crane, "Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the 'Invisible College' Hypothesis", *American Sociological Review*, XXXIV (1969), pp. 335-352; N. C. Mullins, *Social Networks among Biological Scientists*, tesis de doctorado de la Universidad de Harvard, 1966), y "The Micro-Structure of an Invisible College: The Phage Group" (escrito presentado en una reunión anual de la American Sociological Association, Boston, 1968).

Desde esta perspectiva, una comunidad científica consta de profesionales de una especialidad científica. En una medida sin parangón en la mayoría de los demás campos, estas personas han pasado por procesos semejantes de educación e iniciación profesional, merced a lo cual han absorbido la misma bibliografía técnica, extrayendo de ella muchas lecciones en común. Normalmente las líneas que separan las bibliografías al uso marcan los límites de los temas científicos, y de ordinario cada comunidad posee un tema de estudio propio. En las ciencias hay escuelas, es decir, comunidades, que abordan el mismo tema desde perspectivas incompatibles. Mas son ahí más raras que en otros campos; siempre están en competencia y ésta normalmente se termina enseguida. Como resultado de ello, los miembros de una comunidad científica se ven a sí mismos y son vistos por los demás como las únicas personas responsables de la prosecución de un conjunto de metas compartidas, incluyendo entre ellas la formación de sus sucesores. Entre dichos grupos la comunicación es relativamente plena y los juicios profesionales, relativamente unánimes. Dado que, por otro lado, la atención de las distintas comunidades científicas se centra en asuntos diferentes, la comunicación profesional a través de la línea de separación entre los grupos es en ocasiones ardua y lleva con frecuencia a malentendidos que, de continuar, pueden provocar desacuerdos importantes, anteriormente insospechados.

Las comunidades en este sentido existen, por supuesto, en diversos niveles. El más global es la comunidad de todos los científicos naturales. En un nivel sólo ligeramente inferior, los principales grupos profesionales son las comunidades de físicos, químicos, astrónomos, zoólogos y similares. Para estos grandes grupos, la pertenencia al grupo se establece fácilmente excepto en los márgenes. Ordinariamente resulta más que suficiente el tema más general al que se dedican, la pertenencia a sociedades profesionales, así como las revistas que se leen. Otras técnicas similares aislarán a los subgrupos más importantes, como los químicos orgánicos, y tal vez los químicos de las proteínas entre ellos, los físicos del estado sólido y de altas energías, los radioastrónomos y demás. Los problemas empíricos sólo aparecen en el siguiente nivel de especialización. Para poner un ejemplo contemporáneo, ¿cómo se habría de aislar el grupo fago antes de que se proclamara públicamente? Para este fin es preciso recurrir a la asistencia a conferencias especiales, a la distribución de borradores de manuscritos o pruebas de imprenta anteriores a la publicación, y sobre todo, a las redes de comunicación formales e informales, incluyendo las descubiertas en la correspondencia y en los nexos entre citas.[6] Supongo que es algo que se puede hacer y que se hará, al menos para el mundo contemporáneo y las épocas

[6] Eugene Garfied, *The Use of Citation Data in Writing the History of Science* (Filadelfia, Institute of Scientific Information, 1964); M. M. Kessler, "Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing", *American Documentation*, XVI (1965), pp. 223-233; D. J. Price, "Networks of Scientific Papers", *Science*, CIL (1965), pp. 510-515.

más recientes de la historia. Lo típico es que produzca comunidades de tal vez un centenar de miembros, aunque en ocasiones sean significativamente menos. Usualmente algunos científicos individuales, especialmente los más capaces, pertenecerán a varios de esos grupos sea simultánea o sucesivamente.

Las comunidades de este tipo constituyen las unidades que se han presentado en este libro como aquellas que producen y validan el conocimiento científico. En ocasiones, los miembros de dichos grupos comparten paradigmas y, sin hacer referencia a la naturaleza de esos elementos compartidos, difícilmente se entenderán muchos aspectos de la ciencia descritos en las páginas precedentes. Pero no ocurrirá así con otros de esos aspectos, aunque no se hayan presentado independientemente en mi texto original. Por consiguiente, merece la pena señalar, antes de atender directamente a los paradigmas, toda una serie de cuestiones que solo exigen hacer referencia a la estructura de la comunidad.

Tal vez la más sorprendente de ellas sea lo que he denominado anteriormente la transición del periodo preparadigmático al posparadigmático en el desarrollo de un campo científico. Esta transición se ha bosquejado más arriba, en el capítulo II. Antes de que tenga lugar, hay algunas escuelas que compiten por el dominio de un campo determinado. Después, siguiendo la estela de algunos logros científicos notables, el número de escuelas se ve considerablemente reducido, normalmente a una, con lo que da comienzo un modo más eficiente de practicar la ciencia. Este último es en general esotérico y orientado a la resolución de

problemas, una manera de trabajar que el grupo sólo puede practicar cuando sus miembros dan por sentado los fundamentos de su campo.

La naturaleza de la transición a la madurez merece una mayor atención de la que ha recibido en este libro, especialmente por parte de los que se ocupan del desarrollo de las ciencias sociales contemporáneas. A tal fin, puede ser útil señalar que la transición no tiene por qué asociarse (y ahora creo que no debería hacerse) con la adquisición de un paradigma por vez primera. Los miembros de todas las comunidades científicas, incluyendo las escuelas del periodo preparadigmático, comparten el tipo de elementos que he denominado colectivamente *un paradigma*. Lo que cambia con la transición a la madurez no es la presencia de un paradigma, sino más bien su naturaleza. Sólo tras el cambio es posible la investigación normal de resolución de rompecabezas. Muchos de los atributos de una ciencia desarrollada que he asociado más arriba con la adquisición de un paradigma, los trataría ahora como consecuencias de la adquisición de un tipo de paradigma que identifica los rompecabezas que constituyen un reto, suministra pistas para su solución y garantiza que los profesionales verdaderamente listos tengan éxito. Sólo quienes se han sentido envalentonados al ver que su propio campo (o escuela) posee paradigmas pueden sentir que se sacrifica algo importante con el cambio.

Una segunda cuestión, más importante al menos para los historiadores, concierne a la identificación biunívoca que se hace en este libro de las comunidades científicas con los temas científicos. Esto es, he actuado reiteradamente como si,

digamos, la "óptica física" la "electricidad" y el "calor" hubieran de dar nombre a comunidades científicas dado que nombran temas de investigación. La única alternativa que parecía permitir mi texto era que todos esos temas han pertenecido a la comunidad física. Con todo, las identificaciones de ese estilo no superarán un examen, tal y como mis colegas de historia han señalado reiteradamente. Así, por ejemplo, no existía comunidad física antes de mediados del siglo XIX, momento en que se formó por la confluencia de partes de dos comunidades anteriormente separadas, las de las matemáticas y la de la filosofía natural *(physique expérimentale)*. Lo que hoy en día es el tema de estudio de una única comunidad amplia, había estado disperso de distintos modos por diversas comunidades en el pasado. Otros temas más restringidos, como por ejemplo el calor y la teoría de la materia, habían existido durante largos periodos sin convertirse en el campo especial de ninguna comunidad científica única. Sin embargo, tanto la ciencia normal como las revoluciones son actividades basadas en la comunidad. Para descubrirlas y analizarlas es preciso desenmarañar antes la estructura comunitaria de las ciencias que cambia a lo largo del tiempo. En primera instancia, un paradigma no domina un tema, sino más bien a un grupo de investigadores. Cualquier estudio sobre la investigación dirigida por un paradigma o llamada a destrozar un paradigma ha de comenzar localizando al grupo o a los grupos responsables.

Cuando se aborda de este modo el análisis del desarrollo científico, tienden a desvanecerse diferentes dificultades que han atraído la atención de

la crítica. Algunos comentaristas, por ejemplo, han utilizado la teoría de la materia para sugerir que exagero drásticamente la unanimidad de los científicos y su compromiso con un paradigma. Hasta hace poco relativamente, señalan, esas teorías han sido objeto de continuo desacuerdo y debate. Estoy de acuerdo con esa descripción, pero no la tengo por un contraejemplo. Las teorías de la materia, al menos hasta 1920, no eran el terreno específico o el tema de estudio de ninguna comunidad científica. Por el contrario, constituían herramientas para un gran número de grupos de especialistas. En ocasiones, los miembros de diferentes comunidades elegían diversas herramientas y criticaban la elección que habían hecho otros. Y lo que es más importante, una teoría de la materia no es el tipo de tema sobre el que deban estar necesariamente de acuerdo ni siquiera los miembros de una sola comunidad científica. La necesidad de un acuerdo depende de qué es lo que hace la comunidad. La química de la primera mitad del siglo XIX suministra un ejemplo al caso. Aunque varias de las herramientas fundamentales de la comunidad (las proporciones constantes, las proporciones múltiples y los pesos de combinación) se habían convertido en propiedad común como resultado de la teoría atómica de Dalton, tras ella era perfectamente posible que los químicos basaran su trabajo en esas herramientas a la vez que discrepaban, en ocasiones con vehemencia, acerca de la existencia de los átomos.

Creo que también de disolverán del mismo modo algunas otras dificultades y malentendidos. En parte debido a los ejemplos que he elegido y en parte debido a mi vaguedad acerca de la naturaleza y tamaño de las comunidades pertinentes, unos cuantos lectores de este libro han llegado a la conclusión de que lo que me preocupa principal o exclusivamente son las revoluciones importantes, como las asociadas con Copérnico, Newton, Darwin o Einstein. No obstante, un bosquejo más claro de la estructura de la comunidad contribuiría a poner de relieve la impresión más bien distinta que he intentado crear. Para mí, una revolución es un tipo especial de cambio que entraña una especie de reconstrucción de los compromisos del grupo, pero no hace falta que sea un cambio grande, ni tiene por qué parecer revolucionario a los de fuera de una única comunidad compuesta tal vez por menos de 25 personas. Es urgentemente necesario que comprendamos este cambio revolucionario frente al acumulativo, precisamente porque ocurre de manera tan regular a esta escala pequeña, razón por la cual a sido pocas veces reconocido o discutido en los escritos de filosofía de la ciencia.

Una última alteración, íntimamente relacionada con la anterior, puede ayudar a facilitar dicha comprensión. Algunos críticos han puesto en duda que la crisis, la conciencia común de que algo ha ido mal, preceda a las revoluciones de manera tan invariable como he dado a entender en mi texto original. Sin embargo, nada importante depende para mi argumento de que las crisis sean un prerrequisito absoluto para las revoluciones. Basta con que sean el preludio usual que suministre un mecanismo de autocorrección que asegure que la rigidez de la ciencia normal no prosiga eternamente sin que se ponga en tela de juicio.

Las revoluciones se pueden inducir también de otras maneras, aunque pienso que rara vez lo son. Además, señalaría ahora lo que la falta de una discusión adecuada de la estructura de la comunidad ha oscurecido antes: no es preciso que las crisis se generen merced al trabajo de la comunidad que las experimenta y que a veces sufre una revolución como consecuencia de ello. Los instrumentos nuevos como el microscopio electrónico o las leyes nuevas como las de Maxwell pueden desarrollarse en una especialidad mientras que su asimilación crea una crisis en otra.

2. *Los paradigmas como la constelación de los compromisos del grupo*

Volvamos ahora sobre los paradigmas y preguntémonos qué es lo que pueden ser. En mi texto original no hay ninguna cuestión que sea más importante ni más oscura. Un lector favorable, que comparte mi convicción de que *paradigma* nombra los elementos filosóficos centrales del libro, preparó un índice analítico parcial y concluyó que el término se usa por lo menos de 22 modos distintos.[7] Ahora estimo que la mayor parte de esas diferencias se deben a inconsistencias de estilo (por ejemplo, las leyes de Newton son a veces un paradigma, a veces parte de un paradigma y en ocasiones paradigmáticas), por lo que se pueden eliminar con relativa facilidad. Pero una vez hecho ese trabajo editorial, seguirían existiendo dos usos muy distintos del término que requieren

[7] Masterman, "The Nature of Paradigm".

separación. El uso más global es objeto de esta sección, mientras que el otro se considerará en la siguiente.

Habiendo aislado a una comunidad particular de especialistas mediante técnicas como las que hemos estado considerando, puede ser útil preguntar: ¿qué es lo que comparten sus miembros que explica la relativa plenitud de su comunicación profesional y la relativa unanimidad de sus juicios profesionales? A esta pregunta mi texto original permite como respuesta: un paradigma o un conjunto de paradigmas. Ahora bien para este uso, no así para el que se discutirá más abajo, el término resulta inapropiado. Los propios científicos dirían que lo que comparten es una teoría o un conjunto de teorías, y me alegraría que el término pudiese terminar recuperándose para este uso. Tal y como se utiliza ordinariamente en filosofía de la ciencia, no obstante, *teoría* connota una estructura de naturaleza y alcance mucho más limitados de lo que aquí se necesita. Hasta tanto el término no se pueda liberar de sus implicaciones al uso, evitaré la confusión de adoptar otras. Para los fines presentes sugiero *matriz disciplinar*, *disciplinar* porque alude a la posesión común por parte de los que practican una disciplina concreta, y *matriz* porque se compone de elementos ordenados de varios tipos, cada uno de los cuales precisa una especificación ulterior. Todos o la mayoría de los objetos del compromiso de grupo que mi texto original consideraba paradigmas, partes de paradigmas o paradigmáticos son constituyentes de la matriz disciplinar y en cuanto tales forman un todo y funcionan juntos. Con todo, no los vamos a discutir como si fueran

de una pieza. No intentaré dar una lista exhaustiva, si bien señalar los tipos principales de componentes de una matriz disciplinar no sólo clarificará la naturaleza de mi posición actual, sino que a la vez también preparará el camino a mi siguiente argumento principal.

Denominaré *generalizaciones simbólicas* a un tipo importante de componentes, poniendo la mira en esas expresiones que los miembros de un grupo despliegan sin contestación o disentimiento y que se pueden poner fácilmente en una forma lógica del tipo $(x)(y)(z)\ \emptyset\ (x, y, z)$. Son los componentes formales o fácilmente formalizables de la matriz disciplinar. En ocasiones, se encuentran ya en forma simbólica: $f = ma$ o $I = V/R$. Otros se expresan de ordinario mediante palabras: "los elementos se combinan en proporciones de peso constantes" o "la acción es igual a la reacción". Si no fuese por la aceptación general de expresiones de este jaez, no existirían los puntos de anclaje en los que los miembros del grupo fijan las poderosas técnicas de manipulación lógica y matemática en su empresa de resolución de rompecabezas. Aunque el ejemplo de la taxonomía sugiere que la ciencia normal puede proceder con muy pocas expresiones de este estilo, muy en general la potencia de una ciencia parece aumentar con el número de generalizaciones simbólicas que quienes las practican tienen a su disposición.

Tales generalizaciones ofrecen el aspecto de leyes naturales, pero para los miembros del grupo a menudo su función no se limita a eso. En ocasiones no son más que eso, por ejemplo la ley de Joule-Lenz, $H = RI^2$. Cuando se descubrió esta ley, los miembros de la comunidad ya sabían qué era H, R e I, y estas generalizaciones simplemente les dijeron algo acerca de la conducta del calor, la corriente y la resistencia que antes no sabían. Pero más a menudo, como indica lo que se ha tratado ya en el libro, las generalizaciones simbólicas sirven a la vez para una segunda función, función que de ordinario se separa tajantemente en los análisis de los filósofos de la ciencia. Al modo de $f = ma$ o $I = V/R$, funcionan en parte como leyes y en parte también como definiciones de algunos de los símbolos que contienen. Además, el equilibrio entre sus inseparables fuerzas legislativa y definitoria cambia con el tiempo. En otro contexto, estos puntos merecerían un análisis detallado, pues la naturaleza del compromiso con una ley es muy distinta de la naturaleza del compromiso con una definición. A veces las leyes se pueden corregir poco a poco, pero no las definiciones, puesto que son tautologías. Por ejemplo, parte de lo que exigía aceptar la ley de Ohm era una redefinición tanto de *corriente* como de *resistencia*. Si ambos términos continuaran significando lo que habían significado antes, la ley de Ohm no podría haber sido cierta. Por eso levantó una oposición tan enérgica, mientras que no ocurrió así con la ley de Joule-Lenz.[8] Probablemente se trata de una situación típica. En la actualidad sospecho que todas las revoluciones entrañan, entre otras cosas, el abandono de generalizacio-

[8] Para aspectos importantes de este episodio, véase T. M. Brown, "The Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics", *Historical Studies in the Physical Sciences*, I (1969), pp. 61-103, y Morton Schagrin, "Resistance to Ohm's Law", *American Journal of Physics*, XXI (1963), pp. 536-547.

nes cuya fuerza había sido anteriormente en parte la de las tautologías. ¿Mostró Einstein que la simultaneidad era relativa o alteró la noción misma de simultaneidad? ¿Estaban sencillamente equivocados quienes veían una paradoja en la expresión *relatividad de la simultaneidad*?

Consideremos a continuación un segundo tipo de componente de la matriz disciplinar sobre el que ya hemos hablado extensamente en mi texto original bajo rúbricas tales como *paradigmas metafísicos* o *partes metafísicas de los paradigmas*. En lo que estoy pensando es en los compromisos compartidos con creencias del tipo de que el calor es la energía cinética de las partes constituyentes de los cuerpos; que todos los fenómenos perceptibles se deben a la interacción entre los átomos cualitativamente neutros en el vacío, o también alternativamente a materia y fuerza o a campos. Si tuviera que volver a escribir el libro, ahora describiría tales compromisos como creencias en modelos particulares y ampliaría la categoría de los modelos a fin de dar también cabida a los de tipo relativamente heurístico, como que el circuito eléctrico se puede considerar como un sistema hidrodinámico en régimen estacionario, o que las moléculas de un gas se comportan como minúsculas bolas de billar elásticas con movimiento aleatorio. Aunque la fuerza del compromiso del grupo varíe a lo largo del espectro que va de los modelos heurísticos a los ontológicos, lo cual tiene consecuencias que no son triviales, aún así todos los modelos poseen funciones semejantes. Entre otras cosas, suministran al grupo las analogías y metáforas predilectas o permisibles. Al hacerlo, ayudan a determinar qué habrá de aceptarse como una explicación o como una solución a un rompecabezas, y, a la inversa, contribuyen a la determinación de la lista de los rompecabezas sin resolver y a la evaluación de la importancia que cada uno de ellos tiene. Repárese, no obstante, en que los miembros de las comunidades científicas no tienen por qué compartir ni siquiera los modelos heurísticos, por más que ordinariamente lo hagan. Ya he señalado que la pertenencia a la comunidad de los químicos durante la primera mitad del siglo XIX no exigía creer en los átomos.

Designaré aquí como valores a un tercer tipo de elementos de la matriz disciplinar. Normalmente los comparten distintas comunidades con más frecuencia de lo que ocurre con las generalizaciones simbólicas o los modelos, por lo que contribuyen en gran medida a crear un sentimiento de comunidad de los científicos naturales como un todo. Si bien funcionan en todo momento, su importancia particular se pone de manifiesto cuando los miembros de una comunidad dada han de identificar una crisis o, más tarde, elegir entre modos incompatibles de practicar su disciplina. Probablemente los valores más profundamente aceptados afecten a las predicciones, las cuales deben ser precisas; deben preferirse las cuantitativas a las cualitativas, sea cual sea el margen de error permisible; deben satisfacerse consistentemente en un campo dado, etc. No obstante, hay también valores aplicables a la evaluación de teorías en su conjunto, las cuales, antes que nada, han de permitir la formulación y solución de rompecabezas, y en la medida de lo posible deberían ser simples, consistentes y plausibles, esto es, compatibles con otras teorías comúnmente suscritas.

(Considero ahora como una debilidad de mi texto original el que haya prestado tan escasa atención a valores como la consistencia interna y externa al estudiar las fuentes de crisis y los factores que intervienen en la elección de teorías.) Existen además otros tipos de valores, como por ejemplo que la ciencia debería (o no tendría por qué) ser socialmente útil, pero los precedentes servirán para indicar lo que tengo en mente.

Con todo, hay un aspecto de los valores compartidos que merece una mención particular. En mayor medida de lo que ocurre con otros componentes de la matriz disciplinar, los valores pueden ser compartidos por personas que difieren en su aplicación. Los juicios acerca de la precisión son relativamente estables, aunque no del todo estables, de una época a otra y de un miembro a otro de un grupo dado. Sin embargo los juicios acerca de la simplicidad, la consistencia, la plausibilidad y similares varían con frecuencia considerablemente de un individuo a otro. Lo que para Einstein era una inconsistencia insoportable en la vieja teoría cuántica, inconsistencia que hacía imposible el desarrollo de la ciencia normal, para Bohr y otros no era sino una dificultad que se podía esperar que acabaría por resolverse por los medios normales. Lo que es más importante, en aquellas situaciones en las que han de aplicarse los valores, si se toman algunos de ellos aisladamente, dictarán con frecuencia alternativas distintas. Una teoría puede ser más precisa, aunque menos consistente o plausible que otra, lo que se ejemplifica una vez más con la vieja teoría cuántica. En resumen, aunque los valores sean ampliamente compartidos por los científicos y aun-

que el compromiso con ellos sea a la vez profundo y constitutivo de la ciencia, la aplicación de los valores se ve en ocasiones considerablemente afectada por los rasgos de las personalidades individuales y por las biografías que caracterizan a los miembros de un grupo.

A muchos lectores de los capítulos precedentes, esta característica del funcionamiento de los valores compartidos se les ha antojado una debilidad considerable de mi posición. Dado que hago hincapié en que aquello que los científicos comparten no basta para dictar un juicio uniforme acerca de cuestiones tales como la elección entre teorías rivales o acerca de la distinción entre una anomalía ordinaria y una anomalía provocadora de crisis, se me acusa a veces de exaltar la subjetividad e incluso la irracionalidad.[9] Pero tal reacción ignora dos características propias de los juicios de valor en cualquier campo. En primer lugar, los valores compartidos pueden ser determinantes significativos de la conducta de un grupo aunque los miembros de dicho grupo no los apliquen del mismo modo. (De no ser así, no habría problemas filosóficos *especiales* sobre la teoría del valor o la estética.) No todas las personas pintaban igual en los periodos en los que la representación era un valor primordial, si bien el pa-

[9] Véase en especial Dudley Shapere, "Meaning and Scientific Change", en *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy*, The University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science, III (Pittsburgh, 1966), pp. 41-85; Israel Scheffler, *Science and Subjectivity* (Nueva York, 1967); y los ensayos de sir Karl Popper e Imre Lakatos en *Growth of Knowledge* [en la trad. española, *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, pp. 149-158 y 203-343 respectivamente].

trón de desarrollo de las artes plásticas cambió drásticamente cuando se abandonó tal valor.[10] Imagínese lo que ocurriría en las ciencias si la consistencia dejara de ser un valor fundamental. En segundo lugar, la variabilidad individual en la aplicación de los valores compartidos puede desempeñar funciones esenciales para la ciencia. Los puntos a los que se han de aplicar los valores son también invariablemente aquellos en los que se corren riesgos. La mayor parte de las anomalías se resuelve por medios normales y la mayoría de las propuestas de teorías nuevas resultan mal. Si todos los miembros de una comunidad respondiesen a cada anomalía como a una fuente de crisis o adoptasen cada nueva teoría propuesta por un colega, la ciencia se extinguiría. Si, por otro lado, nadie reaccionara a las anomalías o a las teorías de nuevo cuño con alto riesgo, no habría ninguna o muy pocas revoluciones. En cuestiones de este tipo, el recurso a los valores compartidos más bien que a reglas compartidas que rijan las elecciones individuales puede ser el modo que tiene la comunidad de distribuir los riesgos y asegurar el éxito de la empresa a largo plazo.

Pasemos ahora a un cuarto tipo de elemento de la matriz disciplinar, no el único que resta, sino el último del que me ocuparé aquí, para el cual el término *paradigma* resulta completamente apropiado tanto filológica como autobiográficamente. Se trata del componente de los compromisos compartidos del grupo que me indujo en primer lugar a elegir esa palabra. No obstante, dado que el término ha cobrado vida propia, lo sustituiré aquí

[10] Véase antes la discusión del comienzo del capítulo XIII.

por *ejemplares*. Con ello me refería inicialmente a las soluciones de problemas concretas que se encuentran los estudiantes al comienzo de su educación científica, sea en los laboratorios, en los exámenes o al final de los capítulos de los libros de texto. A estos ejemplos compartidos habría que añadir además al menos algunas de las soluciones técnicas de problemas, encontradas en las publicaciones periódicas con las que se topan los científicos en sus carreras como investigadores después de los estudios, las cuales también les enseñan mediante ejemplos cómo se debe hacer el trabajo. Las diferencias entre los conjuntos de ejemplares suministran a la comunidad la estructura fina de la ciencia en mayor medida que los demás tipos de componentes de la matriz disciplinar. Así, por ejemplo, todos los físicos empiezan aprendiendo los mismos ejemplares: problemas como el plano inclinado, el péndulo cónico y las órbitas keplerianas; instrumentos como el vernier, el calorímetro y el puente de Wheatstone. No obstante, a medida que progresa su instrucción, las generalizaciones simbólicas que comparten se ven ilustradas cada vez en mayor medida por distintos ejemplares. Aunque tanto los físicos del estado sólido como los de teoría de campos comparten la ecuación de Schrödinger, ambos grupos sólo tienen en común sus aplicaciones más elementales.

3. *Los paradigmas como ejemplos compartidos*

El paradigma como ejemplo compartido es el elemento central de lo que ahora considero el aspec-

to más novedoso y menos comprendido de este libro. Por consiguiente, los ejemplares exigirán mayor atención que los otros tipos de componentes de la matriz disciplinar. Por lo común, los filósofos de la ciencia no se han parado a considerar los problemas a los que se enfrenta un estudiante en los laboratorios o en los textos científicos, pues se supone que se limitan a ejercitar la aplicación de lo que el estudiante ya conoce. Se dice que no puede en absoluto resolver problemas a menos que haya aprendido antes la teoría y algunas reglas para su aplicación. El conocimiento científico está embebido en la teoría y las reglas, mientras que los problemas se ofrecen para adquirir soltura en su aplicación. Con todo, he tratado de defender que este emplazamiento del contenido cognoscitivo de la ciencia está equivocado. Una vez que el estudiante ha resuelto muchos problemas, hacer más no hace sino aumentar su destreza; pero al comienzo y durante algún tiempo después, resolver problemas es aprender cosas importantes acerca de la naturaleza. En ausencia de dichos ejemplares, las leyes y teorías que ha aprendido anteriormente tendrían escaso contenido empírico.

Para aclarar lo que quiero decir, volveré brevemente sobre las generalizaciones simbólicas. Un ejemplo ampliamente compartido es la segunda ley del movimiento de Newton, que en general se escribe como $f = ma$. El sociólogo, por ejemplo, o el lingüista que descubra que los miembros de una comunidad dada emiten y reciben sin problemas la expresión correspondiente, a menos que investigue mucho más, no habrá aprendido gran cosa acerca de lo que significa ya sea la expresión

o sus términos, ni acerca de cómo los científicos de la comunidad conectan esa expresión a la naturaleza. En realidad, el hecho de que la acepten sin discusión y la utilicen como el punto en el que introducir la manipulación lógica y matemática no entraña por sí mismo que estén en absoluto de acuerdo acerca de cosas tales como su significado y aplicación. Por supuesto que concuerdan en gran medida, pues de lo contrario la cuestión se pondría de manifiesto rápidamente en la conversación subsiguiente. Pero podemos preguntarnos en qué punto y por qué medios han llegado a ese acuerdo. Enfrentados a una situación experimental dada, ¿cómo han aprendido a escoger las fuerzas, las masas y las aceleraciones pertinentes?

En la práctica, aunque este aspecto de la situación pocas veces se advierta, si es que se hace alguna vez, lo que tienen que aprender los estudiantes es incluso más complicado que eso. No es totalmente exacto que la manipulación lógica y matemática se aplique directamente a $f = ma$, sino que, bien examinada, dicha expresión resulta ser un esquema o esbozo de ley. A medida que el estudiante o el científico profesional pasa de un problema a otro, cambia la generalización simbólica a la que se aplica dicha manipulación. Para el caso de la caída libre; $f = ma$ se convierte en $mg = m\, d^2s/dt^2$; para el péndulo simple se transforma en $mg \operatorname{sen}\theta = -ml\, d^2\theta/dt^2$; para un par de osciladores armónicos en interacción se convierte en dos ecuaciones, la primera de las cuales se puede escribir $m_1\, d^2s_1/dt^2 + k_1s_1 = k_2(s_2-s_1+d)$; y para situaciones más complejas como el giróscopo, adopta aun otras formas cuyo parecido de fa-

milia con $f = ma$ es todavía más difícil de descubrir. Con todo, al aprender a identificar fuerzas, masas y aceleraciones en una diversidad de situaciones físicas con las que no se había encontrado anteriormente, el estudiante ha aprendido también a diseñar la versión apropiada de $f = ma$, con la cual ponerlas en relación, versión para la que a menudo no ha encontrado antes un equivalente literal. ¿Cómo ha aprendido a hacer tal cosa?

Nos ofrece una pista un fenómeno familiar tanto a los estudiantes de ciencias como a los historiadores de la ciencia. Los primeros señalan con mucha frecuencia que han leído de cabo a rabo un capítulo de su libro de texto, lo han entendido perfectamente y a pesar de todo tienen dificultades para resolver algunos de los problemas del final del capítulo. También con frecuencia, esas dificultades se disuelven del mismo modo. El estudiante descubre, con o sin la ayuda del instructor, una manera de ver su problema como *similar* a otro problema con el que ya se ha encontrado. Una vez vista la semejanza, una vez captada la analogía entre dos o más problemas distintos, puede interrelacionar los símbolos y ligarlos a la naturaleza del modo que ya antes ha mostrado resultar efectivo. El esquema de ley, digamos $f = ma$, ha funcionado como una herramienta que informa al estudiante qué semejanzas buscar, señalando la Gestalt en la que ha de verse la situación. La consiguiente habilidad de ver una variedad de situaciones como semejantes las unas a las otras, como casos de $f = ma$ u otra generalización simbólica, es, según creo, lo más importante que adquiere un estudiante al hacer problemas ejemplares, sea con papel y lápiz o en un

laboratorio bien concebido. Tras haber resuelto algunas, que pueden variar muchísimo de un individuo a otro, ve las situaciones a que se enfrenta como un científico con la misma Gestalt que otros miembros de su grupo de especialistas. Para él ya no son las mismas situaciones a las que se enfrentaba cuando inició su formación. Entretanto ha asimilado un modo de ver contrastado en el tiempo y aprobado por el grupo.

La función de las relaciones de semejanza adquiridas se revela asimismo con claridad en la historia de la ciencia. Los científicos resuelven rompecabezas tomando como modelo las soluciones anteriores a otros rompecabezas, a menudo con un recurso mínimo a generalizaciones simbólicas. Galileo halló que una bola que rueda por un plano inclinado adquiere la velocidad justa para hacerla volver a la misma altura vertical por un segundo plano inclinado de cualquier pendiente, y aprendió a ver esa situación experimental como un péndulo con una masa puntual por lenteja. A continuación, Huygens resolvió el problema del centro de oscilación de un péndulo físico imaginando que el cuerpo extenso de este último estaba compuesto por péndulos puntuales galileanos cuyas ligaduras mutuas pudieran soltarse instantáneamente en cualquier punto de la oscilación. Una vez sueltas las ligaduras, los péndulos puntuales individuales oscilarían libremente, si bien cuando cada uno de ellos alcanzara su punto más elevado, su centro colectivo de gravedad se elevaría tan sólo, como el del péndulo de Galileo, hasta la altura desde la que el centro de gravedad del péndulo extenso había iniciado la caída. Finalmente Daniel Bernoulli descubrió

cómo hacer que el flujo de agua desde un orificio se asimilara al péndulo de Huygens. Determínese el descenso del centro de gravedad del agua del tanque y del chorro en un intervalo de tiempo infinitesimal. Imagínese a continuación que luego cada partícula de agua se mueve de forma independiente hacia arriba hasta la máxima altura alcanzable con la velocidad adquirida durante dicho intervalo. El ascenso del centro de gravedad de las partículas individuales ha de ser entonces igual al descenso del centro de gravedad del agua del tanque y el chorro. De esta forma de ver el problema se siguió inmediatamente la velocidad de flujo largamente buscada.[11]

Este ejemplo debería empezar a dejar claro a qué me refiero cuando hablo de aprender de los problemas a ver situaciones similares entre sí, que son objeto de aplicación de la misma ley o esquema de ley científica. Al mismo tiempo, debería mostrar por qué aludo al importante conocimiento de la naturaleza que se adquiere al aprender las relaciones de semejanza y que luego se incorpora a la manera de ver las situaciones físicas más bien que a reglas o leyes. Los tres problemas del ejemplo, todos ellos ejemplares para los estudiosos de la mecánica del siglo XVIII, despliegan una única ley de la naturaleza. Conocida como el principio de la *vis viva*, generalmente se enunciaba como: "el descenso actual es igual al ascenso potencial". La aplicación que hizo Bernoulli de la ley indica cuán importante era. Sin embargo, por sí mismo, el enunciado verbal de la ley es virtualmente impotente. Preséntese a un estudiante contemporáneo de física que, aunque conozca todas las palabras y sepa hacer todos esos problemas, emplea hoy en día medios distintos. Imagínese luego qué habrían de significar todas esas palabras, a pesar de ser de sobra conocidas, para una persona que no tiene la menor idea de los problemas. Para esa persona, la generalización sólo podría empezar a funcionar cuando aprendiera a reconocer los "descensos actuales" y los "ascensos potenciales" como ingredientes de la naturaleza, lo cual entraña aprender, previamente a la ley, algo acerca de qué situaciones presenta la naturaleza y cuáles no. Este tipo de saber no se adquiere exclusivamente por medios verbales, sino que se produce más bien a medida que se oyen las palabras al mismo tiempo que se reciben ejemplos concretos de cómo funcionan cuando se usan; esto es, la naturaleza y las palabras se aprenden al mismo tiempo. Para echar mano una vez más de la útil expresión de Michael Polanyi: lo que resulta de este proceso es un *conocimiento tácito* que se aprende haciendo ciencia más bien que adquiriendo reglas para hacerla.

[11] Para el ejemplo, véase René Dugas, *A History of Mechanics*, traducción de J. R. Maddox (Neuchâtel, 1955), pp. 135-136, 186-193, y Daniel Bernoulli, *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum, commentarii opus academicum* (Estrasburgo, 1738), sección III. Para ver en qué medida la mecánica de la primera mitad del siglo XVIII progresó viendo la solución de un problema como un modelo para resolver otro, consúltese Clifford Truesdell, "Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, error, and failure in Newton's *Principia*", *Texas Quarterly*, X (1967), pp. 238-258. [El artículo se recogió luego en el cap. III de C. Truesdell, *Essays in the History of Mechanics*, Nueva York, Springer, 1968; hay traducción española: *Ensayos de Historia de la mecánica*, Madrid, Tecnos, 1975, pp. 134-174: "Reacciones de la mecánica del barroco a los éxitos, conjeturas, errores y fracasos contenidos en el *[sic] Principia*".]

4. *Conocimiento tácito e intuición*

Esta referencia al conocimiento tácito y el consiguiente rechazo de las reglas apunta a otro problema que ha molestado a muchos de mis críticos, a quienes les parecía que daba pie a acusaciones de subjetivismo e irracionalidad. A algunos lectores les ha dado la impresión de que yo trataba de hacer que la ciencia se asentara sobre intuiciones individuales inanalizables más bien que sobre la ley y la lógica. Pero tal interpretación yerra en dos aspectos esenciales. En primer lugar, si hablo después de todo de intuiciones, éstas no son individuales, sino que son más bien el patrimonio contrastado y compartido de los miembros de un grupo con éxito, patrimonio que adquieren los novicios mediante un entrenamiento que forma parte de su preparación para entrar a formar parte del grupo. En segundo lugar, no son inanalizables en principio, sino que por el contrario estoy en la actualidad experimentando con un programa de computadora diseñado para investigar sus propiedades en un nivel elemental.

Nada tengo que decir aquí sobre ese programa,[12] pero su mera mención debería hacer ver cuál es mi posición esencial. Cuando hablo del conocimiento incorporado en los ejemplares compartidos, no aludo a un tipo de conocimiento menos sistemático o menos analizable que el conocimiento incorporado a reglas, leyes o criterios de identificación. Por el contrario, lo que tengo en mente es un modo de conocimiento que se tergiversa si se reconstruye en términos de reglas que primero se abstraen de los ejemplares y luego funcionan en lugar de ellos. O, para decirlo de otra manera, cuando hablo de que se parte de ejemplares para adquirir la capacidad de reconocer una situación dada como similar o disimilar a otras que se han visto antes, no estoy sugiriendo que se trate de un proceso que en principio no pueda ser plenamente explicable en términos de mecanismos neurocerebrales. Por el contrario, lo que quiero decir es que la explicación, por su propia naturaleza, no responderá a la pregunta "¿Similar respecto a qué?" Esta pregunta exige una regla, en este caso criterios mediante los cuales agrupar ciertas situaciones en conjuntos de semejanza, y lo que digo es que en este caso se debería resistir a la tentación de buscar criterios (o al menos un conjunto completo de ellos). Con todo, no me opongo al método, sino a un tipo particular de método.

Para llenar de contenido esta tesis debo hacer una breve digresión. Lo que sigue me parece ahora obvio, pero el constante recurso en mi texto original a expresiones del tipo *el mundo cambia* sugiere que no siempre fue así. Si dos personas están en el mismo sitio y miran en la misma dirección, a menos que incurramos en el solipsis-

[12] Se puede encontrar alguna información sobre el tema en "Second Thougts". ["Second Thoughts on Paradigms", en F. Suppe (ed.), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1974, pp. 459-482; hay traducción española: "Segundas reflexiones acerca de los paradigmas", en F. Supe (ed.), *La estructura de las teorías científicas*, Madrid, Editora Nacional, 1979, pp. 509-533, y Madrid, UNED, 1990, pp. 389-421. También se puede ver ahora en el cap. 12 de T. S. Kuhn (ed.), *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, 1977, traducido al español como *La tensión esencial*, México, FCE, 1981.]

mo, hemos de concluir que reciben estímulos muy similares. (Si ambos pudieran poner sus ojos en el mismo lugar, los estímulos serían idénticos.) Pero las personas no ven estímulos, sino que lo que sabemos de ellos es enormemente teórico y abstracto. Por el contrario, lo que tienen son sensaciones y no tenemos la menor obligación de suponer que nuestros dos observadores tengan las mismas sensaciones. (Los escépticos deberían recordar que el daltonismo no se detectó hasta que lo describió John Dalton en 1794.) Por el contrario, entre la recepción del estímulo y la conciencia de una sensación tiene lugar una buena dosis de procesamiento neuronal. Algunas de las pocas cosas que sabemos sobre el asunto es que estímulos muy distintos pueden producir las mismas sensaciones, que el mismo estímulo puede producir sensaciones muy distintas y finalmente que la vía del estímulo a la sensación está en parte condicionada por la educación. Los individuos criados en diferentes sociedades se comportan en ocasiones como si vieran cosas distintas. Podríamos reconocer que de hecho es así, si no experimentáramos la tentación de identificar los estímulos con las sensaciones de manera biunívoca.

Repárese ahora en que dos grupos cuyos miembros tienen sistemáticamente sensaciones diferentes al recibir los mismos estímulos, *en cierto sentido* viven en mundos distintos. Postulamos la existencia de estímulos para explicar nuestras percepciones del mundo, y postulamos su inmutabilidad para evitar el solipsismo tanto individual como social. No tengo la menor reserva acerca de ninguna de ambas suposiciones, pero nuestro mundo está poblado en primera instancia no por

estímulos, sino por los objetos de nuestras sensaciones y éstos no tienen por qué ser los mismos para distintos individuos ni para grupos diferentes. Por supuesto, en tanto en cuanto los individuos pertenezcan al mismo grupo, compartiendo con ello la educación, el lenguaje, la experiencia y la cultura, tenemos buenas razones para suponer que sus sensaciones sean las mismas. ¿Cómo, si no, podríamos entender que su comunicación sea tan plena y que sus conductas de respuesta al medio sean hasta tal punto comunes? Tienen que ver cosas, tienen que procesar estímulos de manera en gran medida igual. Sin embargo, allí donde comienza la diferenciación y la especialización de los grupos, carecemos de elementos de juicio similares acerca de la inmutabilidad de las sensaciones. Sospecho que sólo la estrechez de miras nos lleva a suponer que la vía que va de los estímulos a la sensación es la misma para todos los miembros de todos los grupos.

Volviendo ahora a los ejemplares y las reglas, lo que he estado tratando de dar a entender, aunque de forma preliminar, es lo siguiente. Una de las técnicas fundamentales mediante las cuales los miembros de un grupo, sea toda una cultura o una subcomunidad de especialistas en su seno, aprenden a ver las mismas cosas cuando se enfrentan a los mismos estímulos es viendo ejemplos de situaciones que sus predecesores del grupo ya han aprendido a ver como semejantes entre sí y diferentes de otros tipos de situaciones. Estas situaciones similares pueden consistir en presentaciones sensoriales sucesivas del mismo individuo, por ejemplo la madre, que termina reconociéndose a primera vista como lo que es y como

alguien distinto del padre o la hermana. Pueden ser también representaciones de miembros de familias naturales, como cisnes por un lado y gansos por otro o, para los miembros de grupos más especializados, pueden ser ejemplos de situaciones newtonianas, esto es, de situaciones que son semejantes por estar controladas por alguna versión de la forma simbólica $f = ma$, siendo distintas de aquellas situaciones a las que se aplican, pongamos por caso, los esquemas de leyes de la óptica.

Concédase por el momento que ocurra algo de este estilo. ¿Acaso habríamos de decir que lo que se ha adquirido a partir de los ejemplares son reglas y la capacidad de aplicarlas? Esta descripción resulta tentadora porque el que veamos una situación como similar a otras con las que nos hemos topado antes ha de ser el resultado del procesamiento neuronal que está plenamente regido por leyes físicas y químicas. En este sentido, una vez que hemos aprendido a hacerlo, el reconocimiento de la semejanza ha de ser tan completamente metódico como el latido de nuestros corazones. Pero esta misma comparación sugiere que el reconocimiento puede también ser involuntario, un proceso sobre el que no tenemos control. De ser así, no podemos concebirlo propiamente como algo que resolvamos aplicando reglas y criterios. Hablar del reconocimiento en estos términos implicaría que tuviésemos acceso a alternativas, que, por ejemplo, hubiéramos podido desobedecer una regla, aplicar mal un criterio o experimentar con otra manera de ver las cosas.[13] Eso, según entiendo, es algo que no podemos hacer.

[13] Esta cuestión jamás habría tenido que planearse si todas

O, para ser más exactos, no podemos hacer tal cosa hasta después de haber tenido una sensación, hasta después de haber percibido algo. Entonces buscamos a menudo criterios y los utilizamos; entonces podemos entregarnos a la interpretación, un proceso de deliberación mediante el cual elegimos entre distintas alternativas, cosa que no hacemos en la percepción misma. Por ejemplo, quizá haya algo raro en lo que hemos visto (recuérdense los naipes anómalos). Al dar la vuelta a la esquina, vemos a nuestra madre entrando en una tienda del centro en un momento en el que pensábamos que estaba en casa. Al considerar lo que hemos visto, exclamamos de pronto, "¡No era mamá, puesto que es pelirroja!" Al entrar en la tienda vemos de nuevo a la señora y no entendemos cómo pudimos confundirla con nuestra madre. O quizá vemos las plumas de la cola de un ave acuática que está comiendo del fondo de una charca poco profunda. ¿Se trata de un cisne o de un ganso? Contemplamos mentalmente lo que hemos visto comparando las plumas de la cola con las de los cisnes y gansos que hemos visto anteriormente. O tal vez, siendo protocientíficos, sencillamente deseamos conocer algunas características generales (la blancura de los cisnes, por ejemplo) de los miembros de una familia natural que ya somos capaces de identificar con facili-

las leyes fuesen como las de Newton y todas las reglas como los Diez Mandamientos. En ese caso, la expresión *transgredir una ley* carecería de sentido y el rechazo de las reglas no parecería entrañar un proceso que no estuviera gobernado por leyes. Desgraciadamente, las leyes de tráfico y otros productos similares de la legislación se pueden transgredir, lo cual que facilita la confusión.

dad. Una vez más, contemplamos lo que hemos percibido anteriormente, buscando lo que tienen en común los miembros de una familia dada.

Todos ellos son procesos deliberativos en los que buscamos y empleamos criterios y reglas. Esto es, tratamos de interpretar sensaciones ya disponibles, tratamos de analizar lo que para nosotros ya está dado. Hagámoslo como lo hagamos, los procesos implicados han de ser en última instancia neurológicos, estando por tanto regidos por las mismas leyes físico-químicas que rigen, por un lado, la percepción y, por otro, el latido de nuestros corazones. Mas el hecho de que el sistema obedezca las mismas leyes en los tres casos no ofrece ninguna razón para suponer que nuestro aparato neuronal esté programado para operar en la interpretación del mismo modo que en la percepción, o en ambas del mismo modo que en el caso del latido del corazón. A lo que me he estado oponiendo en este libro es por consiguiente al intento, tradicional desde Descartes aunque no antes, de analizar la percepción como un proceso interpretativo, como una versión inconsciente de lo que hacemos una vez que hemos percibido.

Por supuesto, lo que hace que merezca la pena subrayar el carácter integral de la percepción es el hecho de que haya tanta experiencia pasada incorporada en el aparato neuronal que transforma los estímulos en sensaciones. Un mecanismo perceptivo adecuadamente programado posee un valor de supervivencia. Decir que los miembros de diversos grupos pueden tener percepciones distintas cuando se enfrentan a los mismos estímulos no quiere decir que puedan tener cualquier

percepción en absoluto. En muchos medios, un grupo que no supiese distinguir a los lobos de los perros no duraría mucho. Un grupo de físicos nucleares tampoco sobreviviría hoy en día como grupo de científicos si sus miembros fueran incapaces de identificar las trayectorias de las partículas alfa y de los electrones. El hecho de que sirvan muy pocos modos de ver es precisamente lo que hace que sólo sean dignos de ser transmitidos de generación en generación los que han superado la prueba de la utilidad para el grupo. Asimismo, podemos hablar de la experiencia y del conocimiento de la naturaleza incorporados en la vía que va del estímulo a la sensación, debido a que han sido seleccionados por su éxito a lo largo de la historia.

Tal vez *conocimiento* sea un término inadecuado, pero hay motivos para recurrir a él. Lo que se incorpora al proceso neuronal que trasforma los estímulos en sensaciones posee las siguientes características: se ha transmitido a través de la educación; por ensayo, se ha mostrado más efectivo que sus competidores históricos en el medio habitual de un grupo; y, finalmente, está sujeto a cambio tanto a través de una ulterior educación como por el descubrimiento de desajustes con el medio. Se trata de características que competen al conocimiento, lo que explica que emplee ese término. Pero se trata de un uso extraño porque falta otra característica, pues no tenemos acceso directo a qué es lo que conocemos, ni tenemos reglas o generalizaciones con las cuales expresar este conocimiento. Las reglas que podrían ofrecer tal acceso deberían hacer referencia a estímulos, no a sensaciones, y sólo podemos conocer los

estímulos a través de una teoría refinada. En su ausencia, el conocimiento incorporado a la vía que va del estímulo a la sensación permanece tácito.

Aunque obviamente se trata de un planteamiento preliminar que no tiene por qué ser correcto en todos los detalles, lo que se acaba de decir acerca de la sensación se ha de entender literalmente. Cuando menos se trata de una hipótesis acerca de la visión que habrá de someterse a investigación experimental, aunque probablemente no se pueda contrastar directamente. Pero hablar de este modo de la visión y de la sensación también posee aquí funciones metafóricas como en el cuerpo del libro. No *vemos* electrones, sino más bien trayectorias o bien burbujas de vapor en una cámara de niebla. No *vemos* en absoluto corrientes eléctricas, sino más bien la aguja de un amperímetro o de un galvanómetro. Sin embargo, en las páginas precedentes, especialmente en el capítulo x, me he expresado repetidamente como si percibiéramos las entidades teóricas del tipo de las corrientes, los electrones y los campos, como si aprendiésemos a hacerlo mediante el examen de ejemplares, y como si también en esos casos fuese erróneo dejar de hablar de *ver* para hablar de criterios e interpretaciones. La metáfora que transfiere *ver* a contextos de este tipo difícilmente es una justificación válida de tales pretensiones. A la larga habrá de eliminarse en favor de un tipo de discurso más literal.

El programa de computadora aludido antes empieza a sugerir algunos modos en que ello podría hacerse, pero ni el espacio disponible ni el alcance de mi actual comprensión del problema

me permite eliminar aquí la metáfora.[14] En lugar de ello, ofreceré una breve defensa. Ver unas gotitas de agua o una aguja contra una escala numérica constituye una experiencia perceptiva primitiva para quien no esté familiarizado con las cámaras de niebla y los amperímetros. Por tanto exige examen, análisis e interpretación (o bien la intervención de una autoridad externa) antes de que se pueda llegar a una conclusión acerca de electrones o corrientes. Pero es muy otra la posición de la persona que haya estudiado dichos instrumentos y haya tenido con ellos mucha experiencia mediante ejemplares, y asimismo existen diferencias correspondientes en la manera en que procesa los estímulos que le llegan de ellos. Por lo que atañe al vapor del aliento en una fría

[14] Las siguientes observaciones crípticas tal vez puedan servir de guía a los lectores de "Second Thoughts" [véase nota 12]. La posibilidad de un reconocimiento inmediato de los miembros de las familias naturales depende de la existencia, tras el procesamiento neuronal, de un espacio perceptivo entre las familias que han de ser discriminadas. Si, por ejemplo, hubiese un continuo perceptivo de las aves acuáticas entre los gansos y los cisnes, nos veríamos obligados a introducir un criterio específico para distinguirlos. Se puede decir algo similar de las entidades inobservables. Si una teoría física no admite la existencia de ninguna otra cosa parecida a una corriente eléctrica, entonces un pequeño número de criterios, que pueden variar ampliamente de un caso a otro, bastará para identificar las corrientes aunque no haya un conjunto de reglas que especifiquen las condiciones necesarias y suficientes para su identificación. Este punto sugiere un corolario plausible que puede ser más importante. Dado un conjunto de condiciones necesarias y suficientes para la identificación de una entidad teórica, dicha entidad puede eliminarse de la ontología de una teoría por sustitución. Sin embargo, en ausencia de tales reglas, estas entidades no son eliminables; la teoría exige su existencia.

tarde invernal, sus sensaciones pueden ser las mismas que las de una persona corriente, pero al ver una cámara de niebla ve (aquí literalmente) no gotitas, sino las trayectorias de electrones, partículas alfa y demás. Esas trayectorias son, si se quiere, criterios que interpreta como indicios de la presencia de las partículas correspondientes, pero esa vía es más corta así como distinta de la seguida por la persona que interpreta gotitas.

Considérese si no a un científico que examina un amperímetro para determinar el número en el que se ha detenido la aguja. Probablemente su sensación sea la misma que la de una persona corriente, especialmente si esta última ha leído antes otro tipo de instrumentos de medición. Pero el científico ha visto el aparato de medida (de nuevo literalmente) en el contexto de todo el circuito y sabe algo acerca de su estructura interna. Para él, la posición de la aguja es un criterio, pero sólo *del valor* de la corriente. Para hacer su interpretación sólo necesita determinar en qué escala se debe leer el instrumento. Para la persona corriente, por otro lado, la posición de la aguja no es un criterio de nada excepto de sí misma. Para interpretarla, ha de examinar todo el entramado de cables, interno y externo, experimentar con baterías e imanes y demás. En el uso metafórico no menos que en el literal de *ver*, la interpretación comienza allí donde acaba la percepción. Ambos procesos no son uno solo y qué deja la percepción para que lo complete la interpretación depende drásticamente de la naturaleza y cuantía de la experiencia y del entrenamiento previos.

5. *Los ejemplares, la inconmensurabilidad y las revoluciones*

Lo que se acaba de decir sirve también como fundamento para aclarar otro de los aspectos del libro, a saber: mis observaciones sobre la inconmensurabilidad y sus consecuencias para los científicos que debaten acerca de la elección de teorías sucesivas.[15] En los capítulos x y xii he argüido que en dichos debates, las partes enfrentadas ven inevitablemente de modo distinto algunas de las situaciones experimentales u observacionales a las que ambas recurren. Ahora bien, dado que los vocabularios con que discuten dichas situaciones constan fundamentalmente de los mismos términos, han de conectar de forma distinta dichos términos a la naturaleza, por lo que su comunicación es sólo parcial. Como resultado de ello, la superioridad de una teoría sobre otra no se puede probar en el debate. En lugar de ello, he insistido en que cada una de las partes ha de tratar de convertir a la otra por persuasión. Sólo los filósofos han tergiversado seriamente la intención de estas partes de mi argumento. Con todo, algunos de ellos han señalado que creo lo que sigue:[16] los que proponen teorías inconmensurables no se pueden comunicar entre sí en absoluto; consecuencia de lo cual en un debate sobre elección de teo-

[15] Los puntos que siguen se tratan con más detalle en los capítulos v y vi de "Reflections" [pp. 427-435 y 135-449 de la traducción española de "Consideración en torno a mis críticos", en *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona, Grijalbo, 1975].

[16] Véanse la obras citadas en la nota 9, más arriba, así como el ensayo de Stephen Toulmin en *Growth of Knowledge* [pp. 133-144 de la traducción señalada en la nota anterior.].

rías no se pueden esgrimir *buenas* razones, sino que en vez de ello las teorías han de elegirse por razones que en última instancia son personales y subjetivas; esto es, la decisión a la que de hecho se llega está provocada por algún tipo de percepción mística. Los pasajes en los que se asientan estas tergiversaciones han sido responsables de las acusaciones de irracionalidad en mayor medida que cualesquiera otras partes del libro.

Considérense en primer lugar mis observaciones acerca de la prueba. Lo que he estado tratando de mostrar es muy sencillo y bien conocido por la filosofía de la ciencia. Los debates sobre la elección de teorías no se pueden plasmar en una forma completamente semejante a las pruebas lógicas o matemáticas. En estas últimas, las premisas y las reglas de inferencia se estipulan desde el comienzo. Si hay un desacuerdo acerca de las conclusiones, las partes del consiguiente debate pueden retroceder paso a paso, comparando cada uno de ellos con las estipulaciones previas. Al final de dicho proceso, unos u otros han de conceder que han cometido un error, que han violado una regla previamente aceptada. Una vez admitido, no hay más que hablar y la prueba de los oponentes resulta irresistible. Tan sólo en el caso de que, en lugar de ello, ambas partes descubran que discrepan acerca del significado o la aplicación de las reglas estipuladas, que su acuerdo previo no ofrece un fundamento suficiente para la prueba, el debate prosigue en la forma que toma inevitablemente durante las revoluciones científicas. El debate versa acerca de las premisas y recurre a la persuasión como preludio a la posibilidad de una demostración.

Nada de esta tesis relativamente familiar entraña que no haya buenas razones para ser convencido o que tales razones no sean en última instancia decisivas para el grupo. Ni siquiera implica que las razones para la elección sean distintas de las que citan usualmente los filósofos de la ciencia, como la precisión, la simplicidad, la fecundidad y similares. Lo que habría que sugerir, no obstante, es que tales razones funcionan como valores, por lo que aquellos que convienen en honrarlos, los pueden aplicar de manera distinta, tanto individual como colectivamente. Por ejemplo, si dos personas discrepan acerca de la fecundidad relativa de sus teorías, o sí concuerdan acerca de ello, pero discrepan acerca de la importancia relativa para hacer una elección de la fecundidad y el alcance, pongamos por caso, ninguna de ellas puede ser acusada de haber cometido un error. Tampoco se puede decir que alguna de ellas se esté conduciendo de forma poco científica. No existe un algoritmo neutral para la elección de teorías, no existe un procedimiento de decisión sistemático que, aplicado adecuadamente, haya de llevar a la misma decisión a todos los individuos del grupo. En este sentido, es la comunidad de especialistas más bien que sus miembros individuales la que toma la decisión efectiva. Para entender por qué la ciencia se desarrolla como lo hace, no es preciso revelar los detalles de la biografía y de la personalidad que ha llevado a cada individuo concreto a una elección particular, por más que el tema sea fascinante. Lo que hay que entender, sin embargo, es el modo en que un conjunto de valores compartidos interactúa con las experiencias particulares compartidas por una comuni-

dad de especialistas para asegurar que la mayoría de los miembros del grupo terminará por encontrar decisivo un conjunto de argumentos más que otro.

Se trata de un proceso de persuasión, si bien presenta un problema más profundo. Dos personas que perciben de forma distinta la misma situación, aunque a pesar de todo usen el mismo vocabulario, cuando discuten han de emplear las palabras de manera diferente. Esto es, hablan desde lo que he dado en llamar puntos de vista inconmensurables. ¿Cómo habrían de aspirar a entenderse, por no hablar de persuadirse? Incluso una respuesta preliminar a dicha pregunta exige que se especifique aún más la naturaleza de la dificultad. Supongo que, al menos en parte, es del tipo siguiente.

La práctica de la ciencia normal depende de la habilidad, adquirida a partir de ejemplares, de agrupar objetos y situaciones en conjuntos de semejanza que son primitivos en el sentido de que el agrupamiento se realiza sin responder a la pregunta "¿Semejantes respecto a qué?" Así pues, uno de los aspectos centrales de cualquier revolución es que cambian algunas de las relaciones de semejanza. Los objetos que se agrupaban antes en el mismo conjunto se reúnen después en otros distintos y viceversa. Piénsese en el Sol, la Luna, Marte y la Tierra antes y después de Copérnico; en la caída libre, el movimiento pendular y planetario antes y después de Galileo; o en las sales, aleaciones o en una mezcla de azufre y limaduras de hierro antes y después de Dalton. Dado que la mayoría de los objetos incluso de los conjuntos modificados siguen agrupándose juntos, normalmente se conservan los nombres de los conjuntos. Con todo, la transferencia de un subconjunto ordinariamente forma parte de un cambio crítico en la red de interrelaciones entre ellos. La transferencia de los metales del conjunto de los compuestos al de los elementos desempeñó una función esencial en el surgimiento de una nueva teoría de la combustión, de la acidez y de la combinación física y química. Estos cambios se difundieron rápidamente uno tras otro por toda la química. Por consiguiente, no es de extrañar que cuando se producen tales redistribuciones, dos personas cuyo discurso había procedido anteriormente con una comprensión aparentemente plena, puedan encontrarse repentinamente con que responden a los mismos estímulos con descripciones y generalizaciones incompatibles. Tales dificultades no tienen por qué manifestarse en todas las áreas de su discurso científico, pero surgirán y se acumularán con mayor densidad en torno a los fenómenos de los que depende de manera más central la elección de teorías.

Aunque tales problemas se hacen evidentes primero en la comunicación, no son meramente lingüísticos y no se pueden resolver sencillamente estipulando las definiciones de los términos problemáticos. Dado que las palabras en torno a las cuales se acumulan las dificultades se han aprendido en parte aplicándolas directamente a los ejemplares, los participantes en una ruptura de la comunicación no pueden decir, "Yo empleo la palabra *elemento* (o *mezcla* o *planeta* o *movimiento no restringido*) del modo determinado por los siguientes criterios". Esto es, no pueden recurrir a un lenguaje neutral que ambos usen del mismo

modo y que sea adecuado para enunciar sus teorías respectivas o incluso las consecuencias empíricas de ambas teorías. La diferencia es en parte anterior a la aplicación de los lenguajes en los que no obstante se refleja.

Las personas que experimentan esas rupturas de la comunicación han de tener con todo algún recurso. Los estímulos que inciden sobre ellos son los mismos, así como también lo son sus aparatos neurológicos generales por distinta que sea su programación. Además, excepto en un área restringida, por importante que sea, de su experiencia, incluso su programación neurológica ha de ser casi idéntica, pues comparten una historia, excepción hecha del pasado inmediato. Como resultado de ello, comparten tanto su mundo y su lenguaje cotidianos como la mayor parte de su mundo y lenguaje científicos. Dado que tienen tanto en común, deberían ser capaces de descubrir muchas cosas acerca de cómo difieren. No obstante, las técnicas precisas no son ni directas ni cómodas ni forman parte del arsenal normal del científico. Los científicos rara vez las identifican y en pocas ocasiones las usan más del tiempo preciso para lograr la conversión o para convencerse a sí mismos de que no la van a conseguir.

En pocas palabras, lo que pueden hacer los que se ven envueltos en una ruptura de la comunicación es reconocerse mutuamente como miembros de diferentes comunidades lingüísticas y hacerse entonces traductores.[17] Al tomar como tema propio de estudio las diferencias entre sus discursos

[17] La fuente ya clásica de la mayoría de los aspectos pertinentes de la traducción es W. v. O. Quine, *Word and Object* (Cambridge, Massachusetts, y Nueva York, 1960), caps. I y II

dentro del grupo y entre los grupos, en primer lugar pueden tratar de descubrir los términos y las locuciones que, aunque se usen sin problemas dentro de cada comunidad, con todo constituyen focos de problemas para las discusiones entre grupos. (Las locuciones que no presenten tales dificultades se pueden traducir de manera homofónica.) Tras aislar esas áreas de dificultad en la comunicación científica, pueden luego recurrir a sus vocabularios compartidos en la vida diaria en un esfuerzo para elucidar aún más sus problemas. Esto es, cada uno de ellos puede intentar descubrir qué vería y qué diría el otro al presentarle un estímulo al que su propia respuesta verbal sería distinta. Si son capaces de refrenar lo bastante su tendencia a explicar la conducta anómala como consecuencia de un mero error o locura, con el tiempo podrán llegar a predecir muy bien la conducta del otro. Cada uno de ellos habrá aprendido a traducir la teoría del otro y sus consecuencias a su propio lenguaje y, a la vez, a describir en su lenguaje el mundo al que se aplica esa teoría. Eso es lo que hace o lo que debería de hacer corrientemente el historiador de la ciencia cuando se ocupa de teorías científicas periclitadas.

Dado que la traducción, si se practica, permite a los implicados en una ruptura de comunicación

[hay traducción española, *Palabra y objeto*, Barcelona, Labor, 1968, y Herder, 2001]. Sin embargo, Quine parece suponer que dos personas que reciben el mismo estímulo han de tener la misma sensación y por consiguiente tiene poco que decir acerca de hasta qué punto el traductor debe ser capaz de *describir* el mundo al que se aplica el lenguaje que se traduce. Para este último punto, véase E. A. Nida, "Linguistics and Ethnology in Translation Problems", en Del Hymes (ed.), *Language and Culture in Society* (Nueva York, 1964), pp. 90-97.

experimentar de manera delegada parte de los méritos y deméritos del punto de vista ajeno, constituye una poderosa herramienta para la persuasión y para la conversión. Sin embargo, puede ser que la persuasión no funcione y, aunque lo haga, puede no verse acompañada o seguida por una conversión. Ambas experiencias no son lo mismo, sino que entre ellas media una importante distinción que sólo recientemente he comprendido de manera plena.

Según yo lo veo, persuadir a alguien es convencerlo de que el punto de vista propio es superior y que por consiguiente debería sustituir al suyo. Eso se consigue en ocasiones sin tener por qué recurrir a nada parecido a la traducción. En su ausencia, muchas de las explicaciones y enunciados de problemas aceptados por los miembros de un grupo científico resultarán opacos para el otro. Pero normalmente cada comunidad lingüística puede producir desde el comienzo unos cuantos resultados concretos de investigación que, aunque se puedan describir con enunciados comprensibles del mismo modo para ambos grupos, con todo la otra comunidad los puede explicar aún en sus propios términos. Si el nuevo punto de vista perdura un tiempo y sigue dando resultados, es probable que los resultados de la investigación verbalizables de este modo tiendan a aumentar. Para algunas personas esos resultados solos serán decisivos y puede ser que digan: no sé cómo han logrado el éxito los que proponen el nuevo punto de vista, pero tengo que aprenderlo; sea lo que sea lo que hagan, es obvio que está bien. Esta reacción se da fácilmente en personas que acaban de llegar a la profesión, pues aún no han adquirido los vocabularios y compromisos especializados de ninguno de los grupos.

No obstante, los argumentos que se pueden enunciar en el vocabulario que ambos grupos usan del mismo modo no resultan por lo común decisivos, al menos no hasta un estadio muy avanzado de la evolución de los puntos de vista opuestos. Entre los ya admitidos en la profesión, pocos se dejarán convencer sin algún recurso a las comparaciones más extensas permitidas por la traducción. Aunque el precio a pagar por ello sea a menudo el uso de frases de gran longitud y complejidad (piénsese en la controversia entre Proust y Berthollet llevada a cabo sin recurrir al término *elemento*), muchos resultados de investigación adicionales se pueden *traducir* del lenguaje de una comunidad al de la otra. Además, a medida que avanza la traducción, algunos miembros de ambas comunidades podrán empezar también a comprender de manera delegada de qué manera un enunciado antes opaco podría ser una explicación para los miembros del grupo opuesto. La disponibilidad de este tipo de técnicas no garantiza, como es natural, la persuasión. Para la mayor parte de las personas la traducción es un proceso amedrentador totalmente extraño a la ciencia normal. En cualquier caso, siempre hay contraargumentos disponibles y no hay reglas que prescriban cómo alcanzar un equilibrio. Con todo, a medida que los argumentos se acumulan y se supera con éxito un reto tras otro, sólo la obstinación ciega puede explicar a fin de cuentas la resistencia pertinaz.

Siendo esto así, se vuelve crucialmente importante un segundo aspecto de la traducción fami-

liar desde hace tiempo a los historiadores y a los lingüistas. Traducir una teoría o visión de mundo al propio lenguaje no significa apropiársela, pues para ello es preciso convertirse en un nativo y descubrir que se piensa y se opera en un lenguaje que antes era extraño, sin que baste simplemente con traducir. Con todo, no es éste un cambio que un individuo emprenda o deje de emprender por deliberación o elección, por muy buenas que sean sus razones para querer hacerlo. Por el contrario, en algún punto del proceso de aprender a traducir, se encuentra con que se ha producido el cambio, con que se ha pasado al nuevo lenguaje sin haber tomado decisión alguna. O bien, como muchos de aquellos que se toparon por vez primera, digamos, con la relatividad o la mecánica cuántica a mitad de su vida, se encuentra completamente persuadido de la bondad del nuevo punto de vista, siendo a pesar de todo incapaz de asumirlo y encontrarse cómodo en el mundo que contribuye a conformar. Intelectualmente tal persona ha elegido, aunque se le escape la conversión precisa para que su elección sea efectiva. No obstante, puede utilizar la nueva teoría, pero lo hará como un extranjero en un medio extraño, una alternativa que está abierta exclusivamente porque ya hay nativos ahí. Su trabajo parasita el de ellos, pues carece de la constelación de técnicas mentales que los futuros miembros de la comunidad adquirirán por educación.

La experiencia de conversión que he comparado con un cambio de Gestalt sigue estando, por consiguiente, en el centro del proceso revolucionario. Las buenas razones a favor de una elección suministran motivos para la conversión y

ofrecen un clima en el que es más probable que se produzca. La traducción puede además suministrar puntos de acceso a la reprogramación neuronal que, por inescrutable que sea en estos momentos, ha de subyacer a la conversión. Sin embargo, ni las buenas razones ni la traducción constituyen una conversión, que es el proceso que hemos de explicar para comprender un tipo esencial de cambio científico.

6. *Las revoluciones y el relativismo*

Una consecuencia de la posición que acabamos de pergeñar ha perturbado especialmente a algunos de los que me han criticado.[18] Encuentran que mi punto de vista es relativista, especialmente tal y como se ha desarrollado en la última sección de este libro. Mis consideraciones en torno a la traducción destacan las razones del cambio. Los que proponen distintas teorías son como los miembros de diferentes comunidades lingüístico-culturales. Aceptar el paralelismo sugiere que en cierto sentido ambos grupos pueden estar en lo cierto. Aplicado a la cultura y su desarrollo, esa posición es relativista.

Pero aplicado a la ciencia puede no serlo y, en cualquier caso, dista del *mero* relativismo en un aspecto que se les ha escapado a sus críticos. Como he defendido, tomados como un grupo o en grupos, los que practican las ciencias desarro-

[18] Shapere, "Structure of Scientific Revolutions", y Popper en *Growth of Knowledge* [en la traducción española, *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, pp. 149-158.]

lladas son fundamentalmente personas que resuelven rompecabezas. Aunque los valores que esgrimen en momentos de elección entre las teorías deriven también de otros aspectos de su trabajo, en caso de conflicto entre los valores, la capacidad probada de plantear y resolver rompecabezas presentados por la naturaleza es el criterio dominante para la mayoría de los miembros de un grupo científico. Como cualquier otro valor, la capacidad de resolver rompecabezas resulta ser ambigua en su aplicación. Dos personas que lo compartan pueden diferir con todo en el juicio que emitan al usarlo. Sin embargo, la conducta de una comunidad para la que sea preeminente será muy distinta de la conducta de aquella para la que no lo sea. Creo que en las ciencias el elevado puesto concedido a la capacidad de resolver rompecabezas posee las siguientes consecuencias.

Imagínese un árbol evolutivo que represente el desarrollo de las modernas especialidades científicas desde su origen común en, digamos, la filosofía natural y las artes primitivas. Una línea trazada hacia arriba del árbol que vaya sin retroceder nunca del tronco a la punta de alguna rama describirá la sucesión de teorías conectadas por relaciones de filiación. Si consideramos cualesquiera dos de dichas teorías tomadas de puntos no muy próximos a su origen, debería ser fácil enunciar una lista de criterios que permitiesen un observador imparcial distinguir una y otra vez la teoría más antigua de la más reciente. Entre los más útiles estarían la exactitud de las predicciones, especialmente de las predicciones cuantitativas, la proporción entre temas esotéricos y cotidianos, y el número de distintos problemas resueltos. Menos útiles a este fin, aunque también importantes como elementos determinantes de la vida científica, serían valores como la simplicidad, el alcance y la compatibilidad con otras especialidades. Estas listas no son aún las precisas, pero no me cabe duda de que se pueden completar. Si ello es posible, entonces el desarrollo científico es, como el biológico, un proceso unidireccional e irreversible. Las teorías científicas posteriores son mejores que las anteriores para resolver rompecabezas en los medios a menudo muy distintos en los que se aplican. Esta posición no es relativista y pone de manifiesto en qué sentido soy un creyente convencido del progreso científico.

Sin embargo, comparada con la noción de progreso más extendida entre los filósofos de la ciencia y las personas ordinarias, esta postura carece de un elemento esencial. Ordinariamente se considera que una teoría científica ha de ser mejor que sus predecesoras no sólo en el sentido de ser un instrumento mejor para descubrir y resolver rompecabezas, sino además porque de algún modo constituye una mejor representación de cómo es en realidad la naturaleza. A menudo se oye decir que las sucesivas teorías se acercan o se aproximan cada vez más a la verdad. Al parecer, este tipo de generalizaciones aluden no a la solución de rompecabezas ni a las predicciones concretas derivadas de una teoría, sino más bien a su ontología, esto es, a la correspondencia entre las entidades con las que la teoría puebla la naturaleza y lo que está "realmente ahí".

Quizá haya otra manera de salvaguardar la noción de "verdad" en su aplicación a teorías globalmente consideradas, pero ésta no puede fun-

cionar. Creo que no hay un modo de reconstruir expresiones como *realmente ahí* que sea independiente de las teorías. Se me antoja ilusoria en principio la idea de una correspondencia entre la ontología de una teoría y su contrapartida "real" en la naturaleza. Además, en cuanto historiador, me impresiona la implausibilidad de ese punto de vista. No me cabe duda, por ejemplo, de que la mecánica newtoniana mejora la de Aristóteles y que la de Einstein hace lo propio con la de Newton en cuanto instrumento de resolver rompecabezas. Mas en su sucesión soy incapaz de ver una dirección coherente de desarrollo ontológico. Por el contrario, en algunos aspectos importantes, aunque no en todos en absoluto, la teoría general de la relatividad de Einstein está más próxima a la de Aristóteles de lo que cualquiera de ellas está la de Newton. Aunque sea comprensible la tentación de tildar de relativista a esta postura, me parece un diagnóstico errado. A la inversa, si la posición es relativista, no veo que el relativista se pierda nada preciso para explicar la naturaleza y el desarrollo de las ciencias.

7. *La naturaleza de la ciencia*

Concluiré discutiendo dos reacciones frecuentes a mi texto original, la primera crítica y la segunda favorable, y ninguna de ellas del todo correcta, según estimo. Aunque ni tienen nada que ver con lo que se ha venido diciendo hasta aquí ni tienen que ver la una con la otra, ambas han sido lo bastante comunes como para exigir al menos alguna respuesta.

Unos cuantos lectores de mi texto original han señalado que paso reiteradamente del modo descriptivo al normativo, una transición especialmente notoria en algunos pasajes que comienzan con la expresión "Pero no es eso lo que los científicos hacen", y terminan pretendiendo que los científicos no deberían hacerlo. Algunos críticos pretenden que confundo la descripción con la prescripción, violando así el venerable teorema filosófico según el cual *es* no implica *debe.*[19]

Dicho teorema se ha convertido en un lugar común que ya no se respeta en todas partes. Algunos filósofos contemporáneos han descubierto importantes contextos en los que lo normativo y lo descriptivo están inextricablemente mezclados.[20] *Es* y *debe* no están siempre en absoluto tan separados como podía parecer. Sin embargo, no es preciso recurrir a las sutilezas de la filosofía lingüística contemporánea para revelar qué ha parecido confuso en mi posición a este respecto. Las páginas precedentes presentan un punto de vista o teoría acerca de la naturaleza de la ciencia y, como otras filosofías de la ciencia, la teoría posee consecuencias sobre el modo en que los científicos habrían de conducirse si su empresa hubiera de tener éxito. Aunque no tiene por qué ser correcta, como ocurre con cualquier otra teoría, ofrece un fundamento legítimo para repetidos *debe* y *debería.* A la inversa, un conjunto de razones para tomar en serio a la teoría es que los cien-

[19] Para uno entre tantos ejemplos, véase el ensayo de P. K. Feyerabend en *Growth of Knowledge* [en la traducción española, *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, pp. 345-389].

[20] Stanley Cavell, *Must We Mean What We Say?* (Nueva York, 1969), cap. I.

tíficos, cuyos métodos se han desarrollado y seleccionado por su éxito, se conducen de hecho como dice la teoría que debieran hacerlo. Mis generalizaciones descriptivas son pruebas a favor de la teoría precisamente porque también se pueden derivar de ella, mientras que para otros puntos de vista acerca de la naturaleza de la ciencia constituyen conductas anómalas.

No creo que la circularidad del argumento sea viciosa. Las consecuencias del punto de vista discutido no se agotan con las observaciones sobre las que descansaba inicialmente. Incluso antes de que se publicara por primera vez este libro, había encontrado que algunas partes de la teoría que presenta eran herramientas útiles para la exploración de la conducta y el desarrollo científicos. La confrontación de este epílogo con las páginas del original puede sugerir que ha seguido desempeñando dicha función. Un punto de vista que sea simplemente circular no puede ofrecer tal guía.

Mi respuesta a una última reacción a este libro habrá de ser de distinta índole. Algunos de los que han disfrutado con él lo han hecho no tanto porque iluminara la ciencia cuanto porque interpretan que sus tesis principales son aplicables también a muchos otros campos. Entiendo lo que quieren decir y no desearía desanimarlos en sus intentos de extender esta posición, pero aún así, su reacción me ha desconcertado. En la medida en que el libro describe el desarrollo científico como una sucesión de periodos ligados a la tradición, separados por rupturas no acumulativas, no cabe duda de que sus tesis poseen una amplia aplicabilidad. Pero es normal que así sea, dado

que las he tomado prestadas de otros campos. Los historiadores de la literatura, de la música, de las artes, del desarrollo político y de muchas otras actividades humanas hace tiempo que han descrito sus objetos de estudio de la misma manera. Una de sus herramientas usuales ha sido el establecimiento de periodos en términos de rupturas revolucionarias del estilo, el gusto y la estructura institucional. Si he tenido alguna originalidad en conceptos de este estilo ha sido principalmente por haberlos aplicado a las ciencias, campos cuyo desarrollo se consideraba en general que era distinto. Posiblemente la noción de paradigma como un logro concreto, como un ejemplar, sea una segunda contribución. Sospecho, por ejemplo, que algunas de las notorias dificultades que rodean a la noción de estilo en las artes podrían disiparse si se pudiera considerar que los cuadros se toman unos a otros como modelo en lugar de producirse conforme a algunos cánones estilísticos abstractos.[21]

Con todo, este libro pretendía asimismo establecer otra tesis que ha resultado menos claramente visible para muchos de sus lectores. Aunque el desarrollo científico pueda asemejarse al que se da en otros terrenos en mayor medida de lo que se ha supuesto con frecuencia, también es sorprendentemente distinto. Decir, pongo por caso, que las ciencias, al menos a partir de un cierto punto

[21] Para este aspecto, así como para un tratamiento más pormenorizado de qué hay de especial en las ciencias, véase T. S. Kuhn, "Comment [on the Relations of Science and Art]", *Comparative Studies in Philosophy and History*, XI (1969), pp. 403-411. [Ahora se puede encontrar también como capítulo 14 de *La tensión esencial*, ya citada.]

de su desarrollo, progresan de un modo vedado a otros campos, no puede estar del todo equivocado, sea lo que sea lo que se entienda por progreso. Uno de los objetivos del libro era el de examinar tales diferencias para comenzar a explicarlas.

Considérese, por ejemplo, el reiterado hincapié que se ha hecho antes en la ausencia o, como diría ahora, en la relativa escasez de escuelas rivales en las ciencias desarrolladas. O recuérdense mis observaciones acerca de la medida en que los miembros de una comunidad científica dada constituyen el único público y los únicos jueces del trabajo de dicha comunidad. O piénsese una vez más acerca de la naturaleza especial de la educación científica, acerca de la resolución de problemas como objetivo y acerca del sistema de valores que despliega el grupo científico en los periodos de crisis y toma de decisiones. El libro aísla otros aspectos del mismo tipo, ninguno de los cuales es necesariamente exclusivo de la ciencia, aunque todos en conjunto hacen que dicha actividad sea algo aparte.

Hay aún muchísimo que aprender acerca de todos estos rasgos. Tras haber iniciado este epílogo subrayando la necesidad de estudiar la estructura comunal de la ciencia, terminaré subrayando la necesidad de estudios similares, especialmente comparativos, sobre las correspondientes comunidades de otros campos. ¿Cómo elegimos y cómo somos elegidos para formar parte de una comunidad particular, científica o no? ¿Cuál es el proceso y las etapas de socialización en el grupo? ¿Qué ve el grupo colectivamente como sus fines, qué desviaciones individuales o colectivas tolerará, y cómo controla las aberraciones impermisi-

bles? La comprensión más plena de la ciencia dependerá también de las respuestas a otros tipos de preguntas, pero no hay área más necesitada de investigación que ésta. El conocimiento científico, como el lenguaje, o es intrínsecamente propiedad común de un grupo o no es nada. Para entenderlo necesitaremos conocer las características especiales de los grupos que lo crean y lo utilizan.

ÍNDICE DE MATERIAS

Este índice ha sido preparado por Peter J. Riggs, y tanto el autor como el editor esta en deuda con él por recomendar esta añadidura y cuidar la edición.

La estructura de las revoluciones científicas se terminó de imprimir y encuadernar en el mes de diciembre de 2004 en los talleres de Impresora y Encuadernadora Progreso, S. A. de C. V. (IEPSA), Calz. de San Lorenzo, 244; 09830 México, D. F. En su tipografía, parada en el Departamento de Integración Digital del FCE, se emplearon tipos New Aster de 10 y 8 puntos. La edición, que consta de 5 000 ejemplares, estuvo al cuidado de *Maribel Madero Kondrat*.